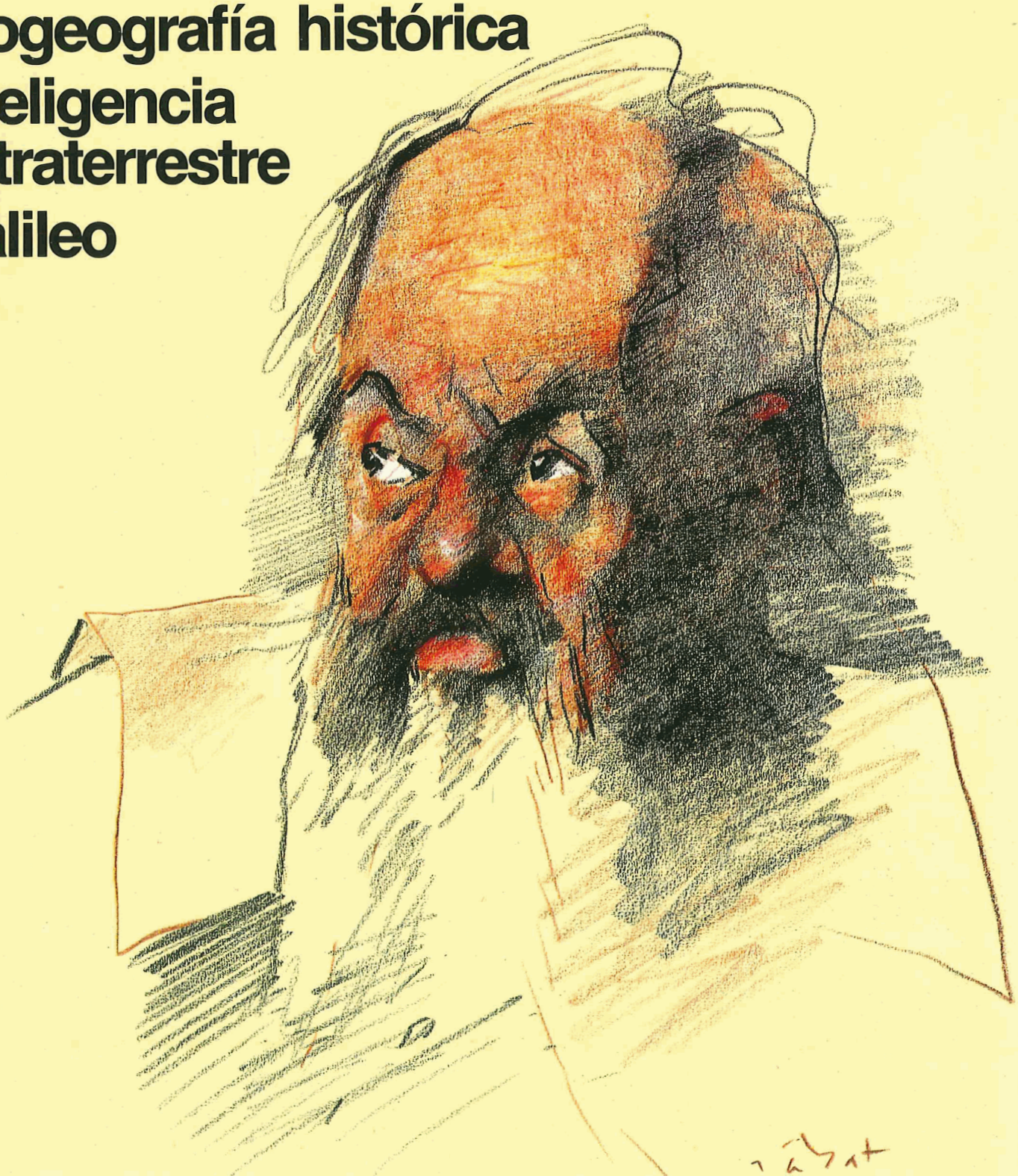
BIOÉTICA

CIENCIAHOY

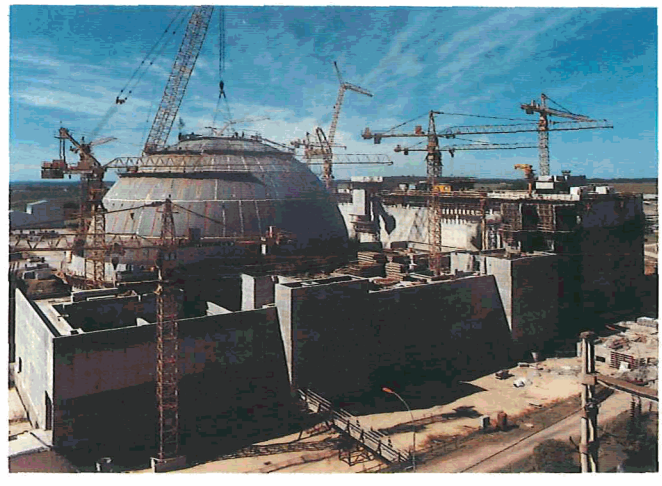
Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Ciencia Hoy - Vol. 1 N°5 diciembre 1989/enero 1990 ₳ 2.800.-

Biogeografía histórica
Inteligencia extraterrestre
Galileo



SIEMENS

Atucha II
La construcción avanza



El pasado 12 de abril se completó el cierre de la esfera de contención de la Central Nuclear Atucha II.

El acto, que contó con la presencia del Presidente de la Nación, constituyó un símbolo de la continuidad de esta obra, tan necesaria para la infraestructura energética del país.

La tecnología para Atucha II es provista por el área KWU de Siemens AG a través de ENACE S.A., el joint venture creado con la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) de la República Argentina.

Siemens AG/KWU de Alemania Federal se cuenta entre las empresas más importantes del mundo en tecnología para la generación de energía.

Nuestro programa nuclear incluye todos los tipos de reactores, desde aquellos con recipiente de presión con agua liviana (PWR) o agua pesada (PHWR), hasta los con agua en ebullición (BWR), incluyendo los conceptos más novedosos como por ejemplo los de alta temperatura (HTR) o los reproductores rápidos (SNR).

Recientes acuerdos de cooperación internacional con Framatome S.A. de Francia y ABB-Asea Brown Boveri AG de Suiza proyectan a Siemens AG/KWU como empresa de gran experiencia en tecnología y servicios nucleares, más allá de sus mercados tradicionales, en el marco del fortalecimiento de la industria nuclear europea.

Siemens AG área KWU

KWU

Si desea mayor información, escríbanos a: KWU Servicios S.A. - Julio A. Roca 620 - Piso 13 - 1067 Buenos Aires.

A GRANDES RASGOS

He leído —a grandes rasgos— su publicación (el n° 2, creo) atraído por la banda que cruzaba la parte izquierda con el título *Tomografía computada*, creyendo ingenuamente que en su interior se desarrollaría el tema indicado en la tapa. Esto no ocurre, señor Director, y, si bien las restantes notas no dejan de ser interesantes, muy bien diagramadas y acertadamente ilustradas, el comienzo frustrante sigue existiendo. Sugiero que en sucesivas notas traten de manera clara y accesible al lector común temas tales como qué es una tomografía computada, qué es una ecografía, qué es una radiografía de tórax, qué son los análisis clínicos de laboratorio (orina, sangre), etc., que serían de gran servicio para el público en general, las clínicas, los hospitales y sus pacientes.
Alberto Kali, Buenos Aires

• *Los temas que menciona el lector, cuyo tratamiento puede hallarse en una buena enciclopedia médica, no tienen por sí mismos cabida en la revista: son cuestiones de ciencia y tecnología "hechas", es decir incorporadas al bagaje de conocimientos con el que tratan desde hace tiempo los profesionales. Por el contrario,* Ciencia Hoy *pretende dar a conocer resultados de la investigación científica que se originan en trabajos actualmente en curso, en especial aquéllos que realizan especialistas argentinos y latinoamericanos, tal como se aclara en el editorial de su primer número.*

AGRADECIMIENTOS

Con respecto a mi artículo "Paisaje con vicuña", publicado en el n° 4 de *Ciencia Hoy*, deseo agradecer a todas aquellas personas que facilitaron mis campañas en la Puna, origen de la investigación que se menciona en el trabajo. Ellos son, especialmente: Jorge Bertoni, director del INTA Abrapampa, René Cabrera y mis amigos Romualdo Mamaní, Mario Tinte y Julio Sarapura.
Bibiana Vilá, Buenos Aires

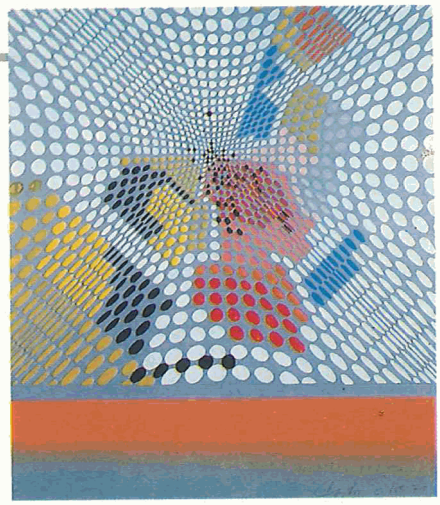
SORPRESA

Ha sido una agradable sorpresa la aparición de *Ciencia Hoy*, cuyo contenido es de tanta calidad como su presentación gráfica. En el número 3 me gustaría destacar el artículo de corrosión bajo *stress* y la sabrosa entrevista a P. Thuillier, sin menoscabar los otros artículos, que son en general excelentes.
Héctor Cantero, Santa Fe

DROGADICCIÓN

Felicito a *Ciencia Hoy* por haber publicado, junto al polémico artículo de Jandira Masur, la apasionada opinión de Eduardo Kalina. Aun antes de leer el artículo de Kalina me decía que parecían algo imprudentes esos gráficos donde "...campean, en la cúspide, en un dibujo que entra por los ojos, las drogas legalizadas...". Jandira Masur advierte que "las diferencias apuntadas gráficamente no pretenden ser exactas sino proporcionar tan sólo un orden de magnitud". Pero los gráficos no plantean claramente la importancia que tiene el tiempo en esta problemática. Aun más, ¿vale la pena siquiera proponerse esta cuestión en los casos ilustrados por los gráficos 1, 2 y 3? Sus epígrafes —síntesis de lo que por cierto dice el texto— indican que el alcohol provoca los efectos nocivos correspondientes después de muchos años, mientras que las drogas ilegales pueden causarlos en semanas. Ante este hecho parece poco relevante llegar a la conclusión de que *al final de los tiempos*

Foto: Bibiana Vilá



Carlos Silva, "ITL"; foto: Andrés Barragán

el alcohol está "en la cúspide": probablemente, para entonces, sólo habrán quedado alcohólicos. Finalmente, creo que merece un comentario especial la ilustración del artículo. Trágica, la escultura de Distéfano nos recuerda la tragedia del hombre contemporáneo, y en este contexto nos recuerda, también, que de los muchos hilos que componen la Telaraña que nos aprisiona, la droga no es la menor.
Marta E. Gutiérrez, Bahía Blanca

Fue con sorpresa que leí el comentario "Drogas: ¿Es éste el problema?", de E. Kalina, solicitado por *Ciencia Hoy* como una *reflexión crítica* al artículo de J. Masur: "Drogas: ¿Cuál es el problema?", ambos publicados en el n° 3, abril-mayo de 1989, de *Ciencia Hoy*.
Kalina, en su comentario, no analiza con la profundidad que se espera de un perito (experto), de *manera crítica* (conforme a lo solicitado por *Ciencia Hoy*), el artículo de Masur. Por lo contrario, le exige una postura inequívoca a la autora y, no encontrándola en el artículo, interpreta de forma capciosa una entrevista publicada en el diario *Folha de Sao Paulo*, atribuyéndole en las entrelíneas una postura favorable a la legalización de las drogas. A continuación, obviamente, se coloca en una postura contraria a la legalización, no importando bajo qué argumentos. De esta manera Kalina busca establecer un "paradigma maniqueo", quedando obviamente perfilado del lado *bueno*. Ignorar que el papel del científico es exactamente el de evitar las simplificaciones fáciles y engañosas, no tener en cuenta que la investigación (*research*) significa "volver a buscar", desconocer que en todo el mundo este

asunto está siendo discutido y analizado dado el fracaso de las posturas oficiales adoptadas hasta ahora, no traerá ningún beneficio a la solución de un problema tan angustiante. Por lo contrario, la radicalización lleva a la ceguera y al oscurantismo. El Colegio Real de Psiquiatras de Inglaterra, en un magnífico trabajo (*Drug Scenes - A report on Drugs and Drug Dependence by the Royal College of Psychiatrists*, Gaskell Press, 1987), que debería ser lectura obligatoria para todos los que se consideren expertos en el asunto, discute en forma apropiada el tema, y llega a comentar sobre la "convivencia" de la sociedad con las drogas: "Hablar de convivencia no es predicar el cinismo o un desanimado *laissez faire* ...y si alguien pretende examinar en forma constructiva la convivencia de las drogas con la sociedad, es esencial que esté informado sobre los hechos (fig. 3) ...El uso indebido de drogas ("drug misuse") es como si fuera un pecado. Muchas personas que se consideran ciudadanos de primera estarán en contra, sin haber considerado en detalle qué es el uso indebido. De la misma forma, muchas personas estarán a favor de la virtud, ejemplificada por la prevención, sin tomar en cuenta qué es lo que debe ser prevenido ni cómo la prevención será lograda".

El artículo de Masur buscó, exactamente, mostrar los argumentos más utilizados por aquéllos que están ya sea *a favor* o *en contra* de la legalización de las drogas para, entonces sí, permitir una *reflexión crítica* de la sociedad interesada. Ignorar la verdad, sustituir las dudas por certezas no ayudará a la solución del problema.

Kalina, al rebatir el argumento de que "la buena salud no es incompatible con el uso regular de opiáceos" (como dicho en la séptima edición del libro de Goodman y Gilman) hace una serie de preguntas sensacionalistas sobre asalto/muerte/SIDA, como si estos aspectos no hubieran sido mencionados en el texto de Masur, y ampliamente discutidos a través de los gráficos. Además, parafraseando también podríamos preguntar, si deseáramos enturbiar el ambiente, cómo deberíamos considerar los numerosos suicidios ocurridos a partir del advenimiento de las drogas antidepresivas: ¿serían ellos incompatibles con su uso terapéutico?

Juan Carlos Distéfano, "La telarana"; foto: Andrés Barragán

Tampoco fue leal la crítica hecha a los gráficos. Kalina, ignorando el conocimiento y las posibilidades de los jóvenes de hoy, duda de que éstos puedan interpretarlos adecuadamente. No creo que los jóvenes incurran obligatoriamente en una lectura equivocada. Como ha venido sucediendo, los jóvenes han entendido que, finalmente, ahora, un asunto que también les interesa está siendo discutido con seriedad, honestidad y no están siendo sujetos una vez más a una tentativa de lavado cerebral a través de una serie de verdades a medias, que las "autoridades" tratan de imponerles. De esta forma, pasan a aceptar más fácilmente los verdaderos efectos nocivos de las drogas.

Finalmente, Kalina dice: "Legitimar esta moderna versión de la esclavitud... es una claudicación intolerable y no debemos aceptarla quienes tenemos una concepción humanista...". Ahora bien, establecido el paradigma maniqueo y endemoniando el uso de la droga (y, perversamente, a la autora que escribó el trabajo) se le hizo fácil a Kalina asumir el papel de ángel salvador.

Maniqueísmo por maniqueísmo, también puede decirse que el problema de la droga se asemeja al de una cuerda tirada de sus dos extremos: de un lado los traficantes y asociados diciendo que las drogas no hacen ningún mal, aumentando de esta manera su comercio; del otro lado, algunas corrientes o profesionales exagerando al extremo los efectos maléficos de las mismas, garantizando de esta manera cargos públicos, presupuestos generosos y clientela cautiva. La cruel realidad es que en este mundo hay más gente viviendo gracias a las drogas que muriendo por su causa.

No creo que Masur y Kalina estén en los extremos de esta cuerda. Pero es necesario que nosotros, científicos o expertos, no nos olvidemos de la frase de Claude Bernard: "en ciencia criticar no es sinónimo de denigrar".

E. A. Carlini, San Pablo (Brasil)

• *El lector es profesor de psicofarmacología de la Escuela Paulista de Medicina y su carta ha sido traducida del portugués.* Ciencia Hoy *ha trasladado la carta a E. Kalina, a fin de que éste pueda ejercer su derecho a réplica. Su respuesta es la siguiente:*

La frase de Claude Bernard con que cierra su alegato el Prof. Dr. Carlini tratando de encauzar el debate entre su esposa, la psicobióloga Prof. Dra. Masur y yo, me sorprende en su intención de re-educarme, pero debo confesar que no me lastima, puesto que no me reconozco en el personaje "maniqueísta" y casi siniestro con el cual discute. Por esta razón sólo tomaré en cuenta algunos puntos, a mi parecer no bien comprendidos, acerca de mis comentarios al trabajo de la Prof. Masur.

(1) Mi posición ideológica con respecto a la importancia del papel del profesional, sea o no "perito (experto)" (en Brasil esta calificación de "experto" que se me aplica significa también "vivo", "piola", "psicópata"), es que no es posible presentarse como neutral, es decir científicamente puro, frente a cualquier tipo de conocimiento en estudio. En consecuencia, al definirme como contrario a la legalización de más drogas psicotóxicas que las ya legalizadas, a las que también combato, actúo de acuerdo con una convicción esclarecida por mí en numerosos trabajos, inclusive traducidos y publicados en Brasil. Es decir que no me coloqué en el papel del "angel salvador", o sea del lado del "bueno", como dice el Prof. Dr. Carlini, para dejar a la Prof. Masur en el lado del "malo". Yo tengo una posición

producto de veinte años de trabajo con toxicómanos y admito todas las posiciones similares, opuestas e intermedias; expongo la mía y no exijo que se la comparta ni coloco al otro en un opuesto absoluto y menos en el caso de este debate. Pero ya que otros han definido esta situación como maniqueísta, me alegra quedar, al menos, en el lugar del "bueno".

Ultimamente no suele ocurrirme esto: mi posición acerca de no aumentar el número de drogas psicotóxicas legalizadas no siempre es bien vista en una sociedad como la nuestra, claudicante y "pensada" permanentemente por los medios de comunicación masivos.

(2) También me parece criticable poner en una serie de gráficos tan sólo algunas de las consecuencias, sin incluir otras tan dañinas como, por ejemplo, en el caso de la cocaína, los efectos a corto plazo sobre la sexualidad, los estados paranoicos que genera, los graves trastornos del ritmo cardíaco, etc. Si se quiere informar al lector para que pueda tomar posición en un debate público, hay que suministrarle los datos claves. Como el autor no lo hizo, yo los agrego, y si por eso soy el "bueno", me alegro.

(3) La correlación entre el tipo de droga consumida y sus efectos farmacológicos intrínsecos, tiempo de consumo, cantidades consumidas, estado nutricional previo, psicopatología previa y condiciones socio-económicas del consumidor, son factores que permanentemente deben ser tenidos en cuenta. Los estudios estadísticos y los gráficos parciales dan lugar a muchos equívocos, así como la pretendida neutralidad del investigador.

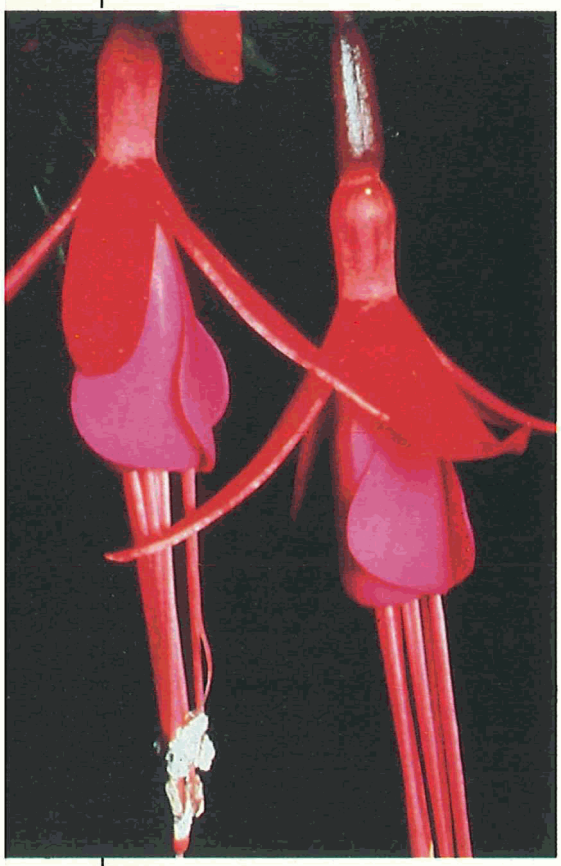
(4) Finalmente considero que comparar el consumo abusivo de drogas psicotóxicas y las consecuencias globales que acarrean con "los suicidios ocurridos a partir del advenimiento de las drogas antidepresivas", es casi entrar en un tipo de pensamiento silogístico (falaz) como el siguiente: "Los hombres son seres vivos, / los árboles son seres vivos, / por lo tanto los hombres son árboles". Se trata de temas diferentes y no se pueden superponer en este género de discusión. Si no fuera así sugeriría también incluir los problemas psiquiátricos derivados del uso de corticoides, etc.

Como todos podrán apreciar, éste es un debate demasiado serio como para que admita maniqueísmos o denigraciones de cualquier tipo. Acepté participar para favorecer un diálogo creativo con francas posibilidades de crítica, como nos ofrece Ciencia Hoy*; y sigo en el debate con intenciones claras y dirigidas a esclarecer mis posiciones y los fundamentos de mi lucha contra el uso abusivo de drogas psicotóxicas y mucho más contra la legitimación de su "comercialización". El drogadicto es un enfermo que se transforma en un "esclavo" y como tal se convierte en un ser fácilmente manejable por los intereses fascistas. Esta convicción surge de veinte años de práctica clínica con pacientes toxicómanos durante muchas horas por día y está al servicio de la VIDA, así, con mayúscula, pues mi ideología es humanista.*

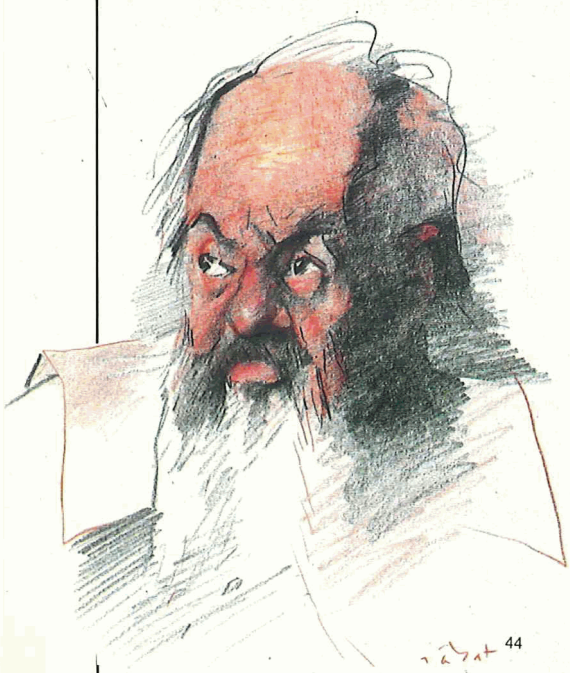
Grande como la ciudad... tan cordial como su gente.

Porque fuimos creados
para servir a nuestra comunidad.
Con la más amplia cobertura en
servicios bancarios y los más modernos
cajeros automáticos del país.
Experiencia y solidez en un banco hecho
a la medida de sus necesidades.
Sea usted un pequeño ahorrista o
una importante empresa.
Acérquese a alguna de las sucursales
que poseemos en todos los barrios,
o a nuestra casa Central.
Tenemos mucho que ofrecerle.
Con la cordialidad de siempre y
la eficiencia de un banco
tan grande como la ciudad.

banco de la ciudad
fundado en 1878



26



44

CARTAS DE LECTORES 1

EDITORIAL 7

AQUÍ CIENCIA 8

La cultura araucana utiliza un mismo mecanismo significativo, de doble oposición sexual y generacional, para definir el matrimonio ideal y para invocar al Alto Dios, Ngnechen.

El gravitropismo es el proceso de respuesta de los vegetales ante estímulos provocados por los cambios de posición de sus órganos con respecto a la dirección de la fuerza gravitacional. Aunque el mecanismo que lo origina no es todavía bien conocido, la fisiología vegetal proporciona algunas hipótesis para comprender este comportamiento.

ENTREVISTA 14

A su paso por Buenos Aires, el director del Instituto de Investigaciones Filosóficas de la Universidad Nacional Autónoma de México, León Olivé, expone sus puntos de vista acerca de las relaciones entre ciencia y sociedad. "El desafío de la epistemología", afirma, "es entender qué significa que el conocimiento científico sea objetivo y, a la vez, un producto socialmente construido".

MEMORIA DE LA CIENCIA 18

Se recuerda la multifacética personalidad del físico argentino Enrique Gaviola, sus proyectos y su visión del progreso nacional indisolublemente vinculado al desarrollo científico.

OPINIÓN 20

Los niveles actuales de contaminación en los grandes centros urbanos y el hecho de que no siempre pueda ser descartada la instalación de industrias basadas en procesos tecnológicos "sucios" obligan a enfrentar las situaciones que se presentan con planes serios, concretos e imaginativos.

EL LECTOR PREGUNTA 24

Ciertas orientaciones epistemológicas de gran difusión en la actualidad son a veces empleadas para fundamentar el derecho de la astrología, la magia y otros sistemas de creencias ajenos a la ciencia a ser consideradas en un pie de igualdad con ésta. ¿Hasta qué punto es razonable esta pretensión?

ARTÍCULOS 26

EN BUSCA DEL PARAÍSO PERDIDO

Jorge V. Crisci y Juan J. Morrone

La biogeografía histórica se ocupa de las causas que han determinado la distribución geográfica de los seres vivos en la Tierra. La metodología propuesta por la biogeografía de la vicariancia, fundada en la teoría de la deriva continental, realiza nuevos e interesantes aportes.

¿UNA AGUJA EN EL PAJAR CÓSMICO? 36

Fernando R. Colomb y **Guillermo A. Lemarchand**

En la actualidad las ondas electromagnéticas son el medio más adecuado para intentar comunicarnos con posibles vecinos galácticos. El lenguaje interestelar común ha de ser, sin duda, la ciencia, pues las leyes de la naturaleza son válidas en todo el universo.

GALILEO Y LOS EFECTOS DEL TAMAÑO 44

Fernando Lobo Carneiro

Una de las figuras más prominentes de la ciencia moderna, Galileo Galilei, fue el iniciador de los estudios teóricos sobre la resistencia de los materiales. En particular, resolvió la cuestión de por qué, si se mantienen las proporciones geométricas de una estructura, un aumento de escala provoca una sensible reducción en la capacidad de resistencia a las cargas adicionales.

NUEVAS IMÁGENES DE UN MUNDO RURAL 56

Jorge Gelman

Estudios históricos muy recientes han obligado a modificar la imagen tradicional de la campaña rioplatense antes de 1810. Ello obliga a una revisión de la historia económica, social y política de la primera mitad del siglo XIX en el ámbito del Río de la Plata.

MODELOS HÍDRICOS Y REALIDAD 62

Pablo M. Jacovkis

Mediante técnicas matemáticas es posible calcular las dimensiones de los embalses, centrales hidroeléctricas, áreas de riego y otras obras que se proyecten en una cuenca fluvial, de modo que el beneficio de la inversión sea máximo. La cantidad de factores que intervienen en el problema involucra formalismos de gran complejidad.

DEBATE 68

¿A quién pertenece la vida? La posibilidad actual de manipular embriones humanos plantea el dilema de si corresponde o no aplicarles normas éticas. Un filósofo y sacerdote, un biofísico y un investigador clínico debaten esta relevante cuestión en una mesa redonda organizada por *Ciencia Hoy*.

CIENCIA EN EL MUNDO 74

El descubrimiento y la síntesis de una nueva sustancia, la FK-506, abren insospechadas perspectivas para resolver los problemas originados por el rechazo de órganos trasplantados.

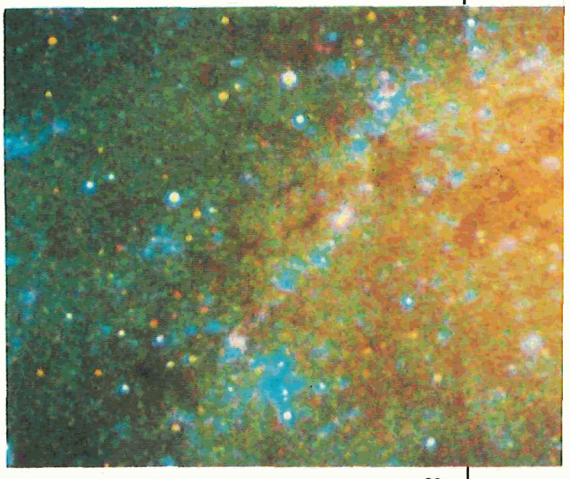
Nuevas técnicas para la construcción de espejos gigantes han permitido diseñar el telescopio Columbus, que se empleará para estudiar la estructura interna de galaxias y cuasares, y quizá descubrir otros sistemas planetarios.

Algunos temas de investigación en el mundo, en visión panorámica: número de hermanos y rendimiento escolar, cuando las plantas conquistaron la tierra, cómo sobrevivir en aguas polares, cáncer y colesterol bajo la lupa.

CIENCIA Y SOCIEDAD 78

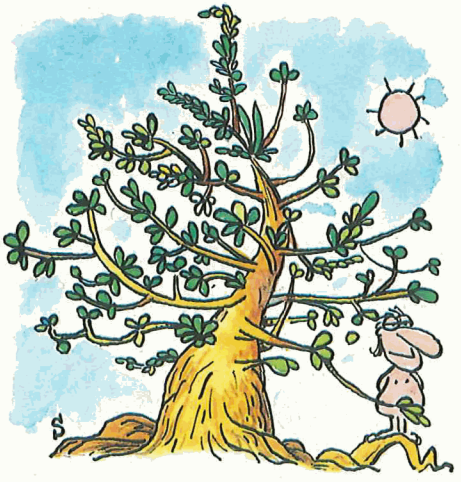
Una reunión internacional realizada en Trieste (Italia) permitió discutir el papel de las mujeres del Tercer Mundo en ciencia y tecnología. Existen limitaciones comunes a todas las mujeres dedicadas a la investigación, aunque provengan de países muy diferentes.

En el ámbito de las ciencias biomédicas se observa que, en la Argentina, las mujeres no logran ocupar posiciones tan destacadas como los hombres. Es necesario indagar acerca de las razones sociológicas que originan este hecho para revertir la situación.



36

56



76

Publicación bimestral de la Asociación Ciencia Hoy.

Sede: Avda. Corrientes 2835, Cuerpo A, 5° A (1193) Buenos Aires, teléfonos 961-1824 y 962-1330.

Editores Responsables: Jorge Balán (Centro de Estudios de Estado y Sociedad), Daniel R. Bes (Departamento de Física, Comisión Nacional de Energía Atómica), Olga Dragún, *coordinadora* (Departamento de Física, Comisión Nacional de Energía Atómica), Patricio Garrahan (Instituto de Química y Fisicoquímica Biológicas, Universidad de Buenos Aires-CONICET).

Editor Asociado: Guillermo Boido (Departamento de Física, Universidad Nacional de La Plata).

Consejo Editorial: Elvira Arrizurieta (Instituto de Investigaciones Médicas "Alfredo Lanari", Universidad de Buenos Aires), Ennio Candotti (Instituto de Física, Universidad Federal de Río de Janeiro, *miembro invitado*), Elena Chiozza (División Geografía, Universidad Nacional de Luján), Emilio de Ipola (Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires), Ezequiel de Olaso (Centro de Investigaciones Filosóficas), Samuel Finkelman (Instituto de Investigaciones Médicas "Alfredo Lanari", Universidad de Buenos Aires), Armando Haeberer (Escuela Superior Latinoamericana de Informática), Jorge E. Hardoy.(Instituto Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo), Juan A. Legisa (Instituto de Economía Energética, Fundación Bariloche), Alejandro C. Paladini (Instituto de Química y Fisicoquímica Biológicas, Universidad de Buenos Aires-CONICET), José Pérez Gollán (Museo Etnográfico, Universidad de Buenos Aires-CONICET), Osvaldo A. Reig (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires), Fidel Schaposnik (Departamento de Física, Universidad Nacional de La Plata-CIC).

Secretaría de Redacción: Heber Cardoso (coordinador), Silvia Pomeranicc (asistente).

Edición de Texto: Susana Frentzel Beyme, Gabriela Tenner.

Edición de Arte: Pablo Barragán (jefe), Ana Laura Efron (armado).

Administración: Beatriz Frydman (coordinadora), Claudia Medina Castro (asistente), Juan A. Massuco (depósito y expedición), María García Blaya, Stella Maris Gramajo (servicios internos).

Colaboradores: Roberto Fontanarrosa, Fernando Sendra (humor). Hermenegildo Sábat, Raúl Torres, Jesús Ortiz (ilustraciones). Andrés Barragán, Eduardo Arrossi (fotografía). Francisco Revelli, Juan Carrère (dibujantes). Alberto Bernades (corrección). Natacha Pravaz, Angela Saltarelli (traducción). Fernando Ritacco (redacción), Beatriz Araujo (desgrabaciones magnetofónicas).

Tapa: Ilustración de Hermenegildo Sábat para el artículo "Galileo y los efectos del tamaño" (pág. 44).

Publicidad: Alberto Barcia

Consejo Científico: Rafael Braun (Centro de Investigaciones Filosóficas), Rodolfo M. Casamiquela (Fundación Ameghino), José C. Chiaramonte (Instituto "Emilio Ravignani", Universidad de Buenos Aires), Roberto Fernández Prini (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires), Juan José Giambiagi (Centro Latinoamericano de Física), Ranwell Caputo (Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba), Eugenia Sacerdote de Lustig (Instituto "Angel Roffo", Universidad de Buenos Aires), Samuel Taleisnik (Instituto de Investigación Médica "Mercedes y Martín Ferreira"), Gregorio Weinberg (CONICET).

Corresponsal en Bariloche: Edgardo Angel Bisogni (Instituto Balseiro, Centro Atómico Bariloche) Avda. Ezequiel Bustillo, km 9,5 (8400) San Carlos de Bariloche.

Corresponsal en La Plata: Néstor Murgier (Departamento de Geografía, Universidad Nacional de La Plata), calle 42 N° 1092 (1900) La Plata, teléfono (021) 24-8208.

Corresponsal en Mar del Plata: Alberto De La Torre (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata), Funes 3350 (7600) Mar del Plata, teléfono (023) 72-3831.

Corresponsal en México: Marcelino Cereijido (CINVESTAN, Instituto Politécnico Nacional) Apdo. Postal 14-740, México D.F., teléfono 586-05-01.

Corresponsal en Madrid: Eduardo F. Muscar Benasayag, Ma. de Molina 34 - 7° B (28006) Madrid.

Corresponsalía en Río de Janeiro: Revista *Ciência Hoje*. Av. Venceslau Brás 71, fundos, casa 27, Río de Janeiro, CEP 22290, teléfonos (021) 295-4846, 295-4442, 275-8795, télex (021) 36952. En esta dirección puede adquirirse *Ciencia Hoy* al costo de NCz 30 o abonarse a una suscripción por seis números al costo de NCz 150. *Ciência Hoje* puede adquirirse en Corrientes 2835, Cuerpo A, 5° A (1193) Buenos Aires al costo de ₳ 2.800, o suscribirse a 11 números por ₳ 28.000. (Oferta válida hasta el 30/I/90).

Suscripciones: América latina (excepto Argentina) y **África** (6 números): u$s 50 (aéreo). **EE.UU.** y **Europa** (6 números): u$s 60 (aéreo).

Distribución: En Capital y Gran Buenos Aires, Rubbo S.R.L. En interior, DISA S.A.

Asociación Ciencia Hoy: Es una asociación civil, sin fines de lucro, que tiene por objetivos: a) divulgar el estado actual y los avances logrados en la producción científica y tecnológica del país; b) promover el intercambio científico con el resto de Latinoamérica a través de la divulgación del quehacer científico y tecnológico de la región; c) estimular el interés del público en relación a la ciencia y la cultura; d) editar una revista periódica que difunda el trabajo de científicos y tecnólogos argentinos, y de toda Latinoamérica, en el campo de las ciencias formales, naturales, sociales y de sus aplicaciones tecnológicas; e) promover, participar y realizar conferencias, encuentros y reuniones de divulgación del trabajo científico y tecnológico del país; f) colaborar y realizar intercambios de información con asociaciones similares de otros países.

Comisión Directiva: Roberto Perazzo (Presidente), José Mayo (Vicepresidente), Enrique Segura (Secretario), Marcos Saraceno (Prosecretario), Olga Dragún (Tesorera), Jorge Balán (Protesorero). El mandato de la Comisión Directiva dura de marzo de 1988 a marzo de 1990.

Difusión: Aníbal Gattone, Patricia Morales.

Colaboraron en la realización de este número: la Fundación Antorchas, KWU Servicios S.A. The Third World Academy of Sciences, Swedish Agency for Research Cooperation with Developing Countries, Comisión Nacional de Energía Atómica, Universidad Nacional de La Plata, Organización de Estados Americanos.

ISSN 0327-1218: Registro de la Propiedad Intelectual en trámite. Fotocomposición de Fototipia Linfoseter S.A., Agrelo 3259, Buenos Aires. Fotocromos y películas pluma de Fotocromos Columbia, Bolívar 1732, Buenos Aires. Impresa en la Argentina en Talleres Gráficos Mundial, Cortejarena 1862, Buenos Aires.

NEC

NEC Argentina S.A., Av. de Mayo 660, P.B. (1084) Buenos Aires
Tel.: 334-5118/5119

LA AUTONOMÍA UNIVERSITARIA

El "recurso de alzada" está fundamentado en el deber constitucional del Poder Ejecutivo de ejercer control sobre la Administración Pública Nacional; este mecanismo permite a una persona afectada por actos de una entidad autárquica de la Administración recurrir al Ministerio competente para obtener su revocación. Sin embargo, la aplicación de este recurso a las Universidades da al Ministerio de Educación y Justicia la potestad de revocar resoluciones de sus máximos órganos de gobierno: los Consejos Superiores. Esto es difícil de conciliar con la autonomía universitaria, ya que si el Ministerio revoca las resoluciones de las Universidades se produce de hecho una injerencia directa del poder político sobre ellas.

Así lo entendió la Universidad de Buenos Aires cuando, luego de su normalización y de la elección de su Consejo Superior, sancionó la resolución 474/86 que excluyó el recurso de alzada para los actos de la Universidad.

El 24 de octubre pasado, el Poder Ejecutivo Nacional mediante el decreto 1111/89 derogó la resolución 474/86 y ordenó (artículo 2 del mencionado decreto): "La Universidad de Buenos Aires elevará inmediatamente al Ministerio de Educación y Justicia todos los recursos que contra sus actos hayan sido o sean interpuestos..."

En el decreto 1111/89 hay dos aspectos preocupantes: uno, que el Poder Ejecutivo derogue una resolución de la Universidad; el otro, que por esta vía se restablece la posibilidad de que el Ministerio de Educación controle los actos de la Universidad. Ambos abren el camino a la injerencia del poder político en la Universidad. Al afirmar esto *Ciencia Hoy* no pretende entrar en un debate jurídico acerca de la legitimidad formal del decreto 1111/89, pero considera que si el Poder Ejecutivo entendía que la resolución 474/86 menoscababa sus facultades constitucionales no debió haber utilizado la vía de un decreto, sino que pudo haber recurrido al diálogo y la búsqueda de consenso o, eventualmente, a la Justicia. Ciertamente, un decreto de redacción imperativa y autoritaria no propende a la tranquilidad de los claustros universitarios cuando en ellos está aún fresca la memoria de recientes avasallamientos de la autonomía universitaria.

El 3 de noviembre de 1989 el Consejo Superior de la Universidad dictó la resolución 4810 que ratifica la presentación efectuada por el Rector ante la Justicia solicitando que se declare la inconstitucionalidad e ilegalidad del decreto 1111/89 y que faculta al Rector para exponer al Presidente de la Nación y al Poder Legislativo la posición de la comunidad universitaria. *Ciencia Hoy* comparte los fundamentos de este pronunciamiento que se transcriben a continuación:

CONSIDERANDO

"Que hoy, más que nunca, la Argentina necesita una Universidad al servicio de los procesos de transformación que permitan resolver los graves problemas que enfrentan sus hombres y mujeres;

"Que enfrentar el desafío de construir una universidad moderna, es decir con capacidad para generar y transmitir conocimientos innovadores para responder a las demandas sociales, supone necesariamente contar con la libertad que sólo es posible en el marco de una autonomía responsable;

"Que este principio de la autonomía que el Gobierno Nacional reconoce y proclama ha venido rigiendo a la institución universitaria desde el momento mismo de su creación, hace casi un milenio;

"Que la historia muestra que cuando se avasalló su autonomía las universidades vivieron sus períodos más estériles y oscuros, y por lo tanto también retrasaron la cultura y la ciencia porque es precisamente esta autonomía, frente al poder político, la que asegura la generación y el mantenimiento de los espacios para el disenso, necesarios para alentar la creatividad;

"Que la reinstalación de la democracia creó las condiciones para que la Universidad argentina, a partir de 1986, con la autonomía y el cogobierno recuperados, pudiera reconstruir su identidad con el esfuerzo de sus integrantes y el aliento del conjunto de la sociedad;

"Que en el marco de las libertades reconquistadas preocupa profundamente a este Consejo Superior el retroceso histórico que supondría la imposición, por parte del Poder Ejecutivo, de una revisión sobre la legitimidad de sus actos de gobierno;

"Que, independientemente del contenido del decreto N° 1111/89 el mero hecho de que el Poder Ejecutivo pueda mediante decreto derogar o modificar cualquier decisión adoptada o por adoptar por las máximas autoridades de la Universidad, surgidas de la voluntad democráticamente expresada por sus claustros, importa un claro avance sobre el espíritu y atribuciones que el Poder Legislativo le ha conferido;

"Que admitir que otro poder que no sea el Judicial o el Legislativo pueda modificar una resolución de las legítimas autoridades universitarias importaría derogar en su totalidad el régimen de autonomía universitaria;

"Que con este espíritu y conscientes de afianzar la juridicidad sustentada en toda sociedad democrática, este Consejo Superior comparte la solicitud presentada ante el Poder Judicial para que se declare la inconstitucionalidad e ilegitimidad del decreto 1111/89 en virtud de los fundamentos allí expuestos."

La resolución cuyos considerandos hemos transcripto fue votada por unanimidad. Por lo tanto, fue compartida por todas las corrientes ideológicas representadas en el Consejo Superior, que abarcan prácticamente a todo el espectro político del país.

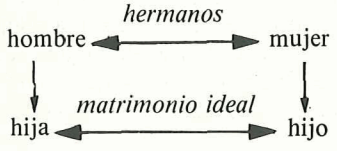
La autonomía universitaria es uno de los requisitos para la libertad académica, es decir para la posibilidad de analizar la realidad sin restricciones impuestas desde afuera. Ni la libertad académica implica impunidad ni la autonomía significa una Universidad ajena a los problemas de la sociedad que la sustenta. Tampoco la autonomía es garantía automática de calidad. Pero *Ciencia Hoy* entiende que el ámbito adecuado para corregir posibles acciones arbitrarias de la Universidad es el Poder Judicial y no el poder político. Al afirmar esto sabe que muchos argumentarán, quizá con razón, que nuestra justicia es demasiado lenta. Este es un argumento peligroso: si la Justicia es lenta hay que dotarla de los instrumentos para que deje de serlo y no caer en la tentación de soslayarla. *Ciencia Hoy* tampoco cree que los decretos sean la herramienta idónea para obtener la inserción de la Universidad en la sociedad. Si para esto es necesario modificar su actual estructura, ello debe ser asumido por el Poder Legislativo, con la participación activa de una Universidad dueña de su destino y consciente de su responsabilidad.

Los editores

El matrimonio perfecto

En el sistema del parentesco araucano adquiría gran importancia el papel del tío materno, el Wekú, quien, durante la niñez del hijo varón era el familiar responsable de imponerle las pautas disciplinarias en mayor medida que su propio padre. La esposa ideal del hijo, llamada por éste *ñuké* (madre), era la hija del Wekú, de modo que el tío materno se convertía en suegro. En este matrimonio entre primos cruzados, ambicionado aunque obviamente no siempre posible, no gravitaba el tabú del incesto.

La concreción del matrimonio ideal requería por tanto que el hombre tuviese hermana e hijas mujeres; ella, a su vez, hijos varones. Se observa en este esquema una doble oposición: sexual y generacional.



Este mecanismo cultural de significación está corroborado por la existencia de numerosas canciones del folklore araucano y por el testimonio de informantes indígenas. Por ejemplo, durante viajes de campo realizados por la autora en 1987 y 1988, ésta abordó el tema con Lucerinta Cañumil, "cacica" de la reserva Cañumil en Río Chico (Río Negro). En ese momento se hallaba con ella su nieto Gerardo, de siete años, acerca del cual comentó: "Si fuera como antes yo tendría que empezar a hablar con él ahora, para que el día en que Fermín (su único hijo casado) tenga una hija y sean grandes se case con ella. Desde chiquitos se les hablaba así, a lo mejor de grandes se casaban".

El mecanismo de doble oposición manifiesta su sentido religioso cuando se lo compara con las formas de invocación al Alto Dios araucano, Ngnechen. En la búsqueda de lo ideal, en el matrimonio arquetípico y en el modo de dirigirse al dios irrepresentable, la cultura araucana utiliza los mismos mecanismos de significación. A Ngnechen se lo nombra como dios de las cuatro caras, ya que en sí mismo encierra a los opuestos: es a la vez hombre y mujer, joven y viejo. Este juego de oposiciones involucra lo irrepresentable, lo perfecto.

El antropólogo J. Benigar anotó los siguientes modos de invocar al Alto Dios:
Wenu-Rey-Fucha (viejo rey del cielo)
Wenu-Rey-Kushe (vieja reina del cielo)
Wenu-Rey-Weche (joven rey del cielo)
Wenu-Rey-Ullcha (joven reina del cielo)
en los cuales se observan las mencionadas oposiciones sexuales y generacionales. Los términos "rey" y "reina" parecen haber sido incorporados en las primeras épocas de la conquista española, aunque el tema es todavía motivo de discusión.

En la actualidad el matrimonio entre primos cruzados y el papel autoritario del Wekú con respecto a los hijos de sus hermanas han caído en desuso, y la esencia del parentesco araucano se ha perdido. Sólo pervive en el recuerdo de algunos ancianos. En cambio a Ngnechen se lo sigue invocando del mismo modo. Seguramente la persistencia de estos ruegos al Alto Dios, según la fórmula antigua, se debe a que ellos se realizan principalmente durante el ritual colectivo del Ngillatun, repetido año tras año.

Graciela B. Hernández
Fundación Ameghino

El cacique Pichi Juan y su esposa. Aquél era considerado, a mediados del siglo XIX, el mejor exponente del pueblo araucano. (Grabado de la época, cortesía de R. M. Casamiquela.)

Gravitropismo

Como es sabido, la mayoría de las plantas superiores viven fijas al suelo y sus distintos órganos crecen en la dirección más adecuada para recibir y emplear la energía solar, el dióxido de carbono, los nutrientes minerales, el agua y otros recursos naturales que le ofrece el entorno. Esta dirección de crecimiento preferente que adopta cada uno de los órganos vegetales se denomina posición liminar.

En general, los tallos principales crecen erguidos y en dirección opuesta a la fuerza de gravedad del planeta, mientras que las raíces también crecen verticales, pero siguiendo la fuerza que ejerce el campo gravitatorio. Asimismo, tanto las ramificaciones de los tallos como los de la raíz, se orientan con ángulos variables a la vertical (posición plagiotropa); existen casos especiales en los que los tallos pueden orientarse incluso en forma horizontal (posición diagravitrópica), tal como sucede con los estolones de la frutilla o los rizomas de la violeta. Es posible afirmar, entonces, que las plantas usan la gravedad para orientarse en el espacio aéreo y edáfico (del suelo).

Si debido a fuerzas ocasionales del ambiente, un órgano es desplazado de su posición liminar, tiende a volver a aquélla ejecutando movimientos de curvatura, ya sea en los nudos (puntos del tallo en los que se insertan los órganos apendiculares) o en los entrenudos (porciones del tallo comprendidas entre dos nudos consecutivos).

Los vegetales, por lo tanto, tienen la capacidad de percibir modificaciones en su dirección de crecimiento y reaccionar, tendiendo a volver sus órganos a la posición liminar. Cuando estos movimientos se producen por cambios de posición de los órganos con relación a la dirección de la fuerza gravitacional o, más correctamente, a la aceleración de la gravedad (cuyo valor normal es $g = 9{,}8\ m/s^2$), el fenómeno se denomina gravitropismo.

Básicamente, el proceso gravitrópico se inicia a partir de la acción de una fuerza física que actúa como factor desencadenante del movimiento. Luego de esta fase del fenómeno, llamada "suscepción", la planta percibe o recepta el cambio de posición ("percepción" o "recepción") y convierte el estímulo en una secuencia ordenada de procesos fisiológicos ("transducción") que terminan con una respuesta ("reacción").

La precisión con que un tallo o una raíz detecta su orientación en el espacio es notable. Si la fuerza gravitacional actúa longitudinalmente al órgano, su crecimiento seguirá esta dirección, pero basta que aquélla se desplace unos pocos grados y se haga ligeramente transversal al eje, para que comience a operar el mecanismo de corrección.

La sensibilidad del órgano con respecto al valor de la fuerza es también excepcional. En los tallos de ciertas especies, una aceleración de la gravedad mil veces menor que el valor normal induce el proceso, mientras que en algunas raíces es suficiente un valor diez mil veces inferior.

La fuerza requerida para ser percibida por los tallos y raíces depende del ángulo en que son desplazados con respecto a la línea de la plomada y de la duración de la exposición del órgano expuesto a la fuerza gravitacional transversal al eje del tallo o de la raíz. Es decir que la cantidad mínima de estímulo o dosis (d) necesaria para producir una reacción es una función del tiempo (t) y de la aceleración de la gravedad con sus componentes ángulo de estímulo (r) y valor absoluto (a): $d = F(t, r, a)$.

Bajo condiciones de valores de aceleración constante, el tiempo de reacción más corto que ha sido medido es de 12s en raíces y poco menos de 30s en coleóptilos (vaina que envuelve a los tallos embrionarios) de avena. Este tiempo, llamado "de presentación", es el lapso mínimo para que el órgano perciba el estímulo y produzca una respuesta visible. El tiempo de percepción, por el contrario, es el lapso mínimo para percibir el estímulo aun sin que el órgano reaccione de manera visible al ojo humano. Diversas investigaciones han demostrado que en el girasol el tiempo de percepción es de 0,5s y que varias exposiciones, cuando se alternan posiciones verticales y horizontales, pueden sumarse para alcanzar un grado tal de estimulación que produzca una respuesta.

Un problema aún no dilucidado es el sitio de percepción de la fuerza gravitatoria. Hasta el momento, los estudios parecen focalizarse en la búsqueda de partículas celulares que cambian de posición liminar. Estas partículas han sido denominadas estatolitos; a su vez las células que los poseen se llaman estatocitos.

De acuerdo con numerosas experiencias, se considera que la gravipercepción se desarrolla a partir de los amiloplástidos (organoides citoplasmáticos llenos de almidón) cuando éstos generan leves cambios de presión sobre las endomembranas (membranas internas) de las células. Este fenómeno se produciría por la variación del centro de gravedad del amiloplástido, provocado como consecuencia de una modificación de la dirección de crecimiento del órgano. Por consiguiente, los amiloplástidos serían los estatolitos, descartándose otros orgánulos citoplasmáticos como mitocondrias, ribosomas y diversos plástidos de poco peso.

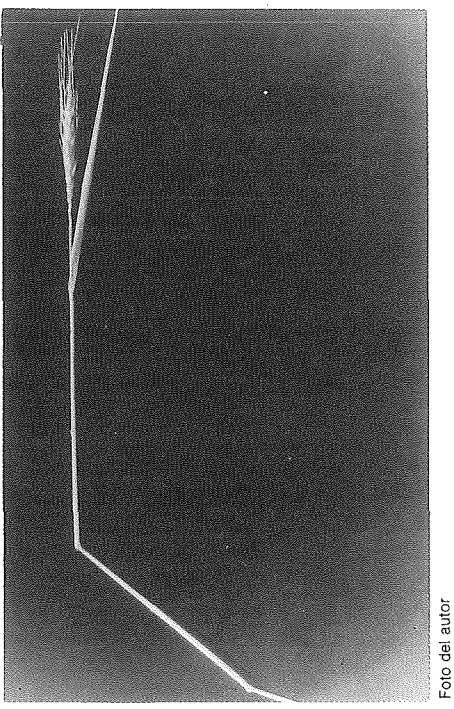


Foto del autor

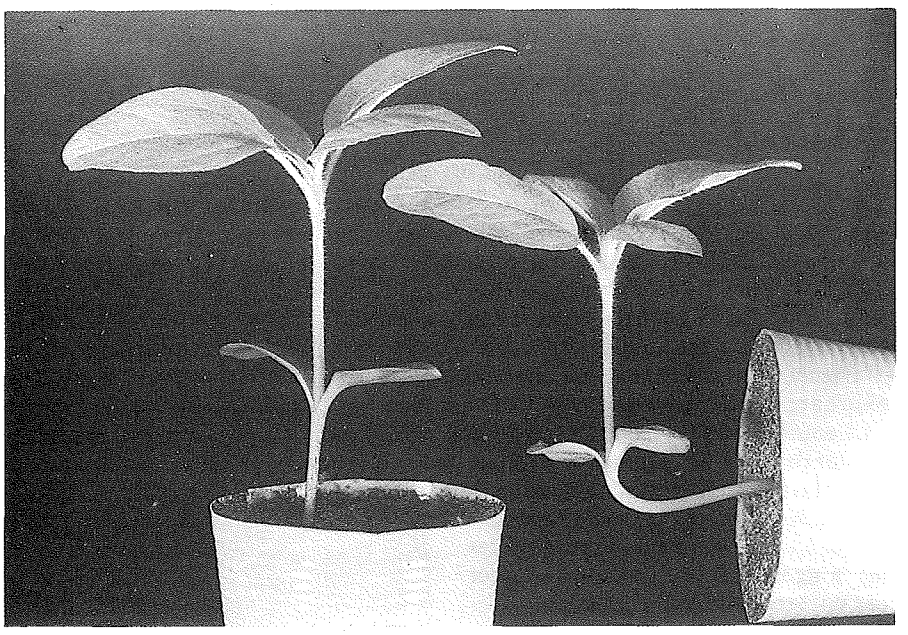
Reacción gravitrópica de los nudos de trigo luego del "vuelco" del tallo provocado por el viento.

Los investigadores modernos están de acuerdo en aceptar el vínculo amiloplástidos-endomembranas como el sensor de la gravedad. Esto se debe a que en diversas experiencias efectuadas sobre tallos en los que se eliminaron los amiloplástidos por medio de tratamientos con hormonas, se observó una pérdida posterior de la respuesta gravitrópica a los cambios de dirección. Lo mismo sucede con las plantas que, por mutación, son incapaces de sintetizarlos.

Si se acepta al amiloplástido como sitio de percepción, se llega a otro interrogante fundamental: ¿cómo se realiza la transducción? En la actualidad se cree que los amiloplástidos actúan como transductores, al cambiar la presión sobre las endomembranas. Este acto de presionar las membranas debe ser un proceso de alta sensibilidad pues en ciertas raíces no es mayor de 50×10^{-9} gr y en muchas otras el peso de sedimentación es diez veces menor.

El cambio de contacto del estatolito sobre las membranas produce la reacción. Pero, ¿cuál es el mecanismo de transducción?

Foto del autor



Movimiento de una plántula de girasol (derecha) luego de haber sido colocada 48 h en posición horizontal. La plántula de la izquierda crece normalmente.

Lamentablemente, por ahora, no se conoce la respuesta.

En el año 1926 dos investigadores, el holandés F. W. Went y el soviético N. Cholodny, de manera independiente, expusieron un modelo que en su forma más estricta propone que las células de un tallo colocado horizontalmente sufren un desarrollo diferencial de su parte basal, debido a la desigual distribución de ciertas hormonas de crecimiento (auxinas) generadas en el ápice del órgano. Esta teoría, denominada de Cholodny-Went en homenaje a sus autores, fue aceptada por varias décadas sin mayores objeciones. Sin embargo, en los últimos años ha sufrido modificaciones, en razón de que los hechos no coinciden con las predicciones de la teoría.

En primer lugar, quedó demostrado que la auxina encontrada en la parte basal no proviene del ápice del tallo, dado que se comprobó que órganos decapitados eran capaces de sufrir movimientos trópicos. En segundo lugar, se observó que el hecho de encontrar mayor cantidad de auxina en las células de la parte basal no parece deberse a su desplazamiento desde la mitad superior del tallo, sino a un movimiento de hormonas de sectores internos hacia las capas externas o a una mayor capacidad de síntesis de las mismas células de la parte basal.

Por otro lado, más allá del desplazamiento de auxinas, ha sido demostrado el traslado de otro tipo de hormonas de crecimiento (giberelinas) y su acumulación diferencial en la zona basal del órgano. Asimismo, además de esta información, no se puede excluir la posibilidad del traslado o síntesis de un inhibidor en la parte superior de un tallo colocado en posición horizontal, con la consecuente diferencia de velocidad de crecimiento de los dos lados.

Como puede deducirse fácilmente, tanto el mecanismo de percepción como el proceso de reacción o respuesta aún no están del todo aclarados. Tampoco existe ninguna evidencia experimental que relacione la percepción de la gravedad con el aumento de promotores de crecimiento en la parte basal del tallo desplazado de su posición erecta. Se supone que el proceso de curvatura exige un gasto de energía pero, cualquiera sea la hormona responsable del crecimiento diferencial, se carece de una hipótesis que explique el desplazamiento de la misma hacia el lugar de su acción.

Debido a que la existencia de un mecanismo pasivo de sedimentación de moléculas tan pequeñas como las auxinas (ácido indolacético) sería impensable, podría argumentarse la posibilidad de existencia de un movimiento activo o de una síntesis endergónica (con aporte de energía) del promotor del crecimiento. Al respecto, P. B. Kaufman propone dos posibilidades: (a) los estatolitos podrían actuar como transportadores de información, conectando enzimas (catalizadores biológicos) claves a sus sustratos, lo que originaría hormonas activas a partir de sustancias complejas, y (b) los densos granos de almidón alterarían las propiedades físicas de orgánulos membranosos del citoplasma celular, como microtúbulos, retículo endoplásmico y/o microfilamentos. Este estado físico alterado facilitaría el transporte lateral. Otra posibilidad que también se admite es que los granos de almidón actúen como fuente de sustrato para la síntesis de polisacáridos (azúcares) de las nuevas paredes celulares. Estos tres modos de acción son meramente especulativos, pues no se han presentado pruebas en su favor.

De acuerdo con lo expresado anteriormente, por el momento el proceso de transducción resulta una verdadera "caja negra" que, en apariencia, se encuentra muy lejos de ser descifrada.

En el Instituto de Fisiología Vegetal de la Universidad Nacional de La Plata se ha realizado un experimento que pone en duda la intervención de los granos de almidón en el proceso gravitrópico. Para esta experiencia se empleó la maleza vulgarmente conocida como "gramón" o "gramilla rastrera", cuyo nombre botánico es *Cynodon dactylon*. A estolones del gramón separados de la planta y colocados en una posición casi vertical, les fue suministrado sacarosa en alta concentración (0,3 Molar). En estas condiciones, los tallos sufrieron gradualmente una curvatura lateral que los llevó a la dirección de crecimiento horizontal, que es la posición liminar de los estolones. Cuando se efectuaron observaciones de la posición de los amiloplástidos en la zona que se había curvado desde la dirección casi vertical hacia la horizontal, se observó que los mismos se hallaban en mayor número en la parte basal, mientras que, de acuerdo con la teoría, deberían haberse encontrado en la parte superior para inducir una gravicurvatura hacia abajo, en dirección a su posición liminar. No puede pensarse que los amiloplástidos en la parte basal "gatillen" una reacción en la parte superior.

Otro punto de interés acerca del experimento radica en el hecho de que se puede asumir que se produjo un crecimiento diferencial de la parte superior del órgano con relación a la región basal. Es decir que, según la teoría de Cholodny-Went, la sustancia promotora debería haberse desplazado hacia arriba o un inhibidor hacia abajo. Como es fácil advertir, para los estolones del gramón no parece aceptable la teoría de los estatolitos así como tampoco la de Cholodny-Went, a menos que se suponga que en los tallos de hábito horizontal (estolones, rizomas) opere un mecanismo similar al de las raíces.

En las raíces el gravitropismo es positivo. Esto significa que la dirección de crecimiento es la de la fuerza gravitatoria. Según la teoría de Cholodny-Went, el despla-

zamiento de la auxina hacia la parte basal inhibiría esta región por la alta sensibilidad del órgano a la hormona, promoviendo una curvatura hacia abajo. Estudios posteriores han detectado un poderoso inhibidor sintetizado en la cofia o tejido de protección de la raíz, que se desplaza hacia la parte basal del ápice e inhibe su crecimiento, provocando la consecuente curvatura hacia abajo. Todas las evidencias apuntan al ácido abscísico como la sustancia inhibitoria.

La percepeción de la gravedad en las raíces se efectuaría de la misma forma que en los tallos, mediante el desplazamiento de amiloplástidos que funcionan como estatolitos en las células de las columnas centrales de la cofia. Este desplazamiento de los estatolitos sobre las membranas del retículo endoplásmico, microtúbulos y microfibrillas, desencadenaría la etapa de reacción, en la cual, como se mencionó anteriormente, intervendrían la auxina, el ácido abscísico y el ion Ca^{2+}.

Existen ciertas evidencias de que el mecanismo de gravirespuesta podría ser otro. Algunos autores sugieren que la elongación de la pared celular en tallos y raíces graviestimulados se debería a un flujo asimétrico de protones (iones H^+) entre la parte superior y basal, tanto en el tallo como en la raíz. Este flujo ácido hacia la pared sería mayor en la superficie superior de la raíz, produciendo su elongación, mientras que en el tallo ocurriría un fenómeno inverso. Teniendo en cuenta que, al emplear reactivos muy sensibles, se detectó un cambio del pH entre las dos superficies y que la acidez causa una elongación asimétrica en la región de crecimiento de tallos y raíces, se ha postulado que son los protones los responsables de provocar las diferencias en las gravicurvaturas. Tres experimentos parecen corroborar esta hipótesis: (1) el suministro de *buffers* (disoluciones neutralizantes) anula el gravitropismo, (2) una asimétrica aplicación de ácido induce la curvatura del tallo y la raíz y (3) varios inhibidores de la gravicurvatura anulan el flujo de protones en las superficies epidérmicas.

Este mecanismo podría estar asociado al movimiento de auxinas, hormonas que promueven el movimiento del ion H^+ desde el citoplasma hacia la pared celular. Además, la generación de un flujo asimétrico ácido es anulado por inhibidores del transporte de auxinas. Sin embargo, todavía falta aclarar si la auxina "gatilla" la síntesis de protones u ocurre el caso inverso.

El modelo más simple propuesto para explicar la acción de los protones supone que éstos activan una enzima ligada a la pared celular, que rompe los enlaces de la matriz rígida, produciendo su ablandamiento.

También merece citarse otra hipótesis en la cual se plantea que en los movimientos gravitrópicos interviene el ion Ca^{2+}. Se ha encontrado que este ion se redistribuye en el tallo rápidamente cuando es graviestimulado, desplazándose siempre hacia el lado del órgano que crece más lentamente. Es probable que tal movimiento esté relacionado con el traslado de la auxina debido a una diferencia de cargas eléctricas. Numerosos autores han detectado cambios eléctricos de origen indefinido a menos de un minuto de ocurrida la graviestimulación. Se cree que estos cambios podrían estar relacionados con flujos de iones asociados a los primeros pasos de la transducción.

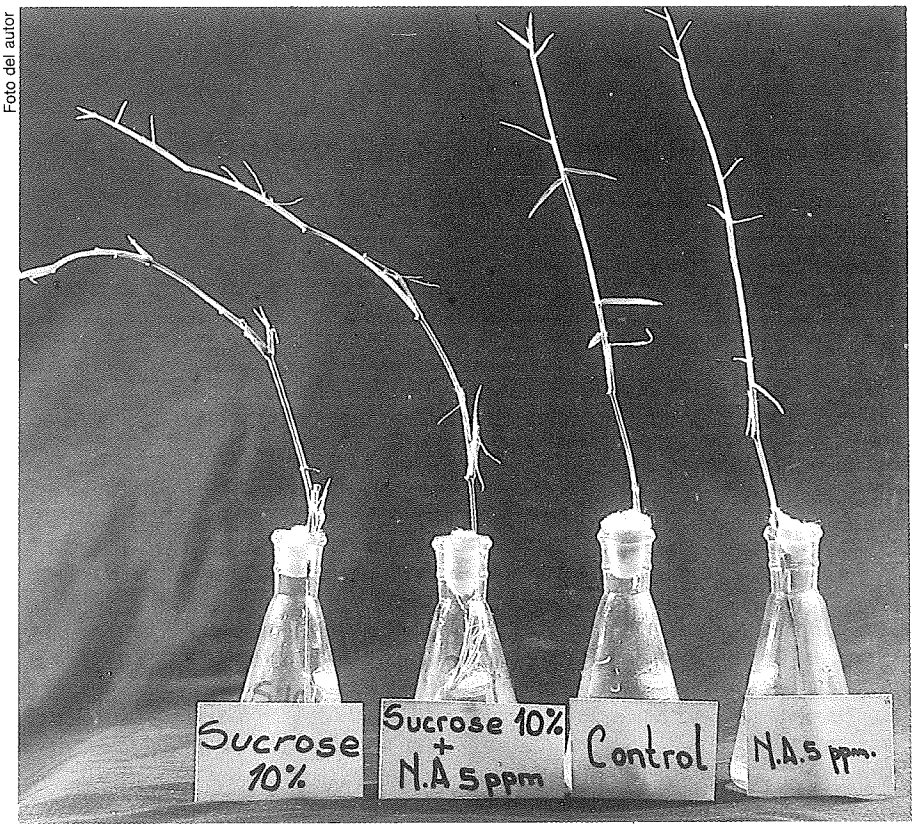
Como ya se mencionó al comienzo del presente artículo, las ramificaciones laterales de los tallos y raíces adoptan posiciones liminares inclinadas con respecto a la línea de la plomada. Esta disposición es muy variada y depende de factores endógenos y exógenos.

En muchas especies, el tallo principal, que crece en dirección ortótropa (siguiendo la vertical del punto en que se encuentra), ejerce dominancia sobre las ramas subapicales haciendo que éstas adopten una dirección de crecimiento inclinada y rara vez sobrepasen la longitud del tallo. Se trata de un fenómeno de correlación por el cual el eje principal, mediante el envío de mensajes químicos, determina el ritmo y la dirección de crecimiento de las ramificaciones subapicales.

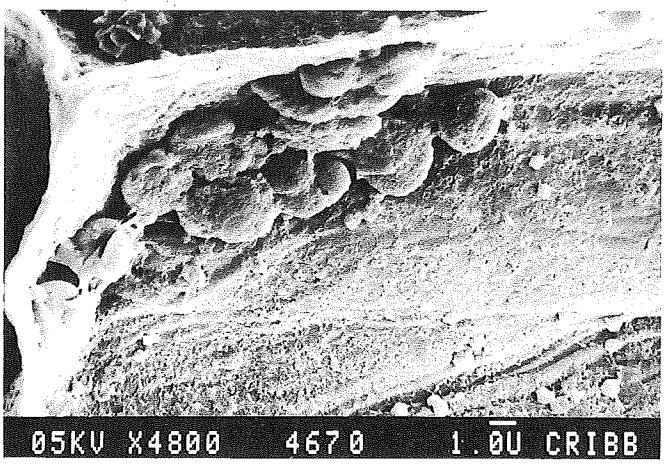
El mecanismo biológico de este control resulta muy poco conocido. Actualmente se sabe que el ápice del tallo principal sintetiza una auxina que se desplaza en forma basipeta (hacia la base) y retarda el crecimiento de las ramificaciones laterales. A medida que esta hormona se traslada, también va sufriendo una destrucción enzimática que provoca una disminución paulatina de sus efectos, hasta hacerlos casi desaparecer a la altura de las ramificaciones basales.

En algunas coníferas, los fotoperíodos cortos —de, por ejemplo, sólo cuatro horas de luz diaria— causan una curvatura de las ramificaciones laterales hacia abajo. Los días largos (18 horas) o la aplicación de giberelinas modifican la dirección de creci-

Foto del autor



Curvatura de estolones del "gramón" hacia su posición liminar (horizontal) por efecto de altas concentraciones de sacarosa. Los frascos de la derecha no contienen azúcar.



Granos de almidón haciendo presión sobre la membrana en células del "gramón" sometidas a una aceleración de 1 g. Microfotografía electrónica de barrido (aumento: 4.800 ×)

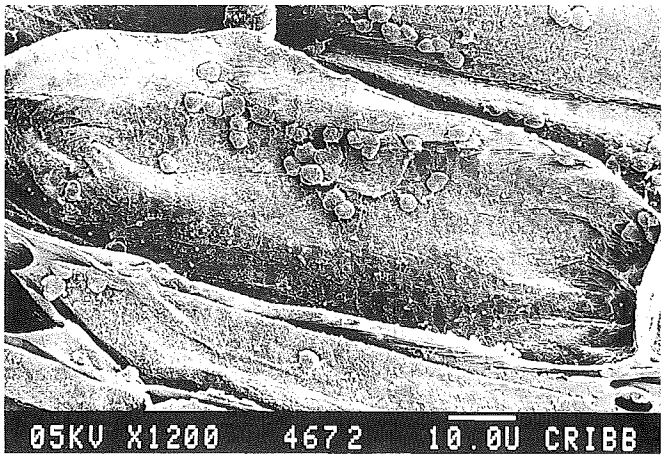


Foto: R. Barreiro

Granos de almidón dispersos en un estatocito. Microfotografía electrónica de barrido (aumento 1.200 ×)

miento orientando las ramas hacia arriba y cerrando el ángulo con respecto al tallo principal. El mismo fenómeno sucede cuando se decapita el tallo principal y una de sus ramas subapicales se vuelve vertical y lo reemplaza.

Esta curvatura de las ramas laterales hacia arriba (hiponastia) está regulada por factores endógenos como las auxinas y giberelinas, pero también intervienen factores exógenos como la longitud del día. Asimismo, estudios más recientes indican que el aumento del gas etileno —otro tipo de hormona normalmente presente en las plantas— causa la hiponastia de las ramificaciones laterales en el cedro. Por el contrario, el crecimiento de las plantas en una atmósfera libre de este compuesto provoca la curvatura de las ramas hacia abajo (epinastia). No está claro, todavía, si el etileno promueve el cambio en el gravitropismo "per se" o al interactuar con otras hormonas.

En los últimos años se han realizado algunos progresos en lo atinente al crecimiento de las ramificaciones basales (macollas) y tallos postrados (estolones) de las gramíneas. En el Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas Vinculadas a la Agricultura de la Universidad de Buenos Aires, se ha demostrado que la dirección de crecimiento de las macollas depende de la calidad de la radiación solar que reciben. Unos pocos minutos diarios de radiación roja (de longitud de onda 660 nm = 660.10^{-9} m) incidente sobre las yemas de las macollas, determina que éstas crezcan con un ángulo muy abierto con respecto a la vertical, tendiendo a la horizontalidad. La respuesta opuesta se obtiene irradiando las plantas con luz roja lejana (730 nm); en tanto que una mezcla de longitudes de onda de 660 y 730 nm produce efectos intermedios. En otras palabras, la relación rojo-rojo lejano de baja intensidad regula el ángulo de inserción de las macollas al tallo principal.

Las ramificaciones que crecen con un ángulo de aproximadamente 90° (diagravitrópicas), como es el caso de los estolones y rizomas, merecen un comentario por separado. Estos órganos son muy comunes en las gramíneas pero también existen en especies de otras familias.

Investigaciones realizadas en el Instituto de Fisiología Vegetal de la Universidad Nacional de La Plata, han permitido demostrar que los estolones de las gramíneas se originan por un fenómeno de correlación. La planta madre controla el carácter rastrero de los estolones trasladando sacarosa hacia los ápices de los tallos, lo cual provoca una epinastia que los conduce a la posición horizontal. Si la planta madre vive bajo condiciones de irradiancias débiles, el sistema fotosintético elabora menor cantidad de sacarosa y los estolones se curvan hacia arriba, adoptando la posición ortótropa. Esta respuesta hace que los estolones dejen de extenderse en la vegetación de su entorno y que las hojas de los tallos erguidos, que se transforman en lanceoladas y de mayor área, aprovechen mejor la irradiación solar en su nueva posición.

El modo de acción de la sacarosa aún no se conoce. Su efecto no es reemplazado por la glucosa ni por la fructosa, pero es contrarrestada por el ácido giberélico y, parcialmente, por sustancias nitrogenadas reducidas como el ion NH_4^+ o la urea. El fenómeno resulta interesante por provocar la epinastia de tallos erectos, llevándolos exactamente hasta su posición de equilibrio liminar y no más allá de ella. Se ha conjeturado que esta posición de equilibrio se logra por un balance entre una graviepinastia y una curvatura diagravitrópica hacia arriba, regulado por dos hormonas. La hipótesis, aunque razonable, carece de validación experimental.

Con respecto a los rizomas de las gramíneas (que al igual que los estolones crecen horizontales, pero enterrados), la sacarosa constituye la sustancia que determina la posición diagravitrópica de estos órganos, pero requieren, además, permanecer bajo condiciones de oscuridad o bajo irradiación roja lejana. Bastan unos pocos segundos de sometimiento a la luz roja para hacer emerger a los rizomas, que de este modo se transforman en tallos erectos con hojas normales.

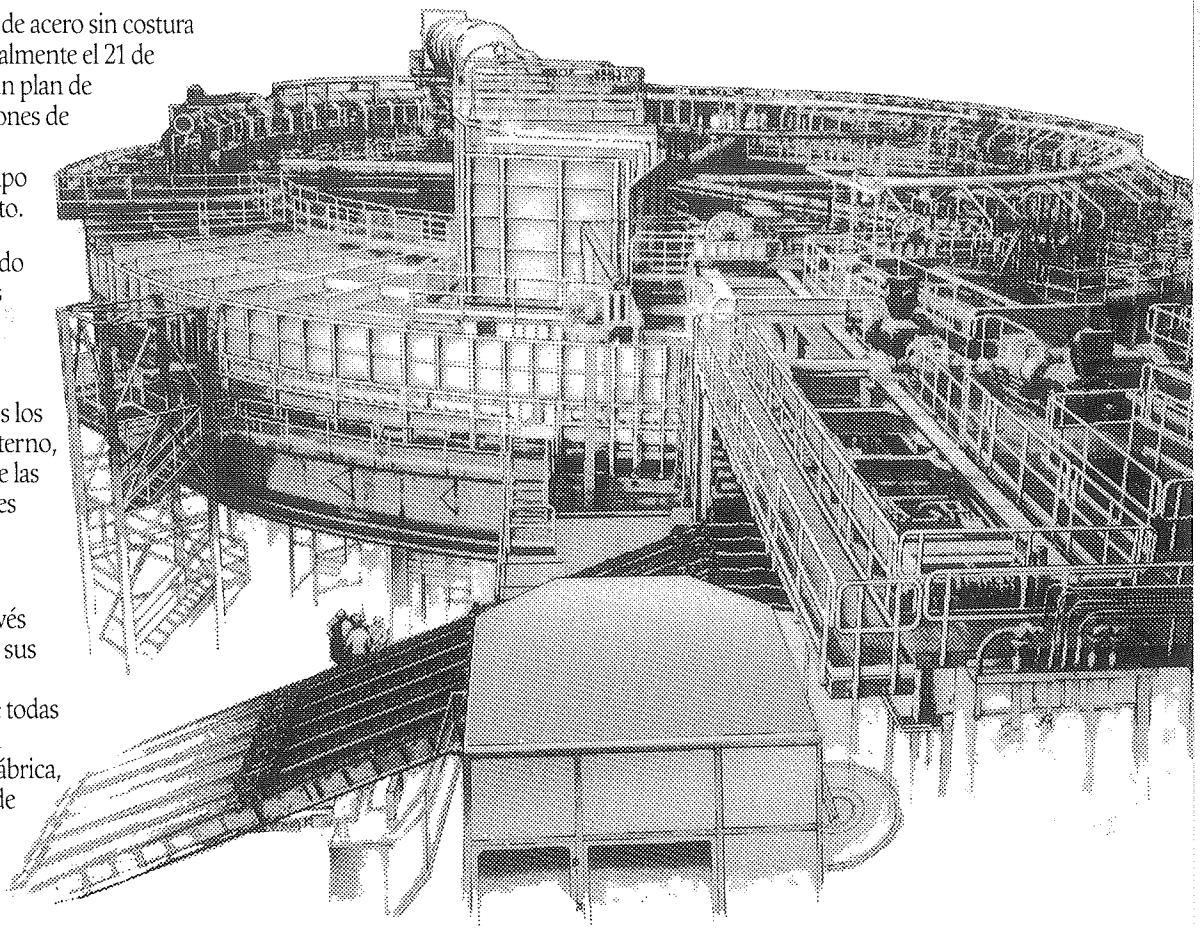
La acción de la luz puede influir en la distribución de la sacarosa fotosintetizada. En condiciones de falta de luz o sometidos a luz roja lejana, los rizomas serían un fuerte destino para este azúcar. En cambio, bajo la irradiancia de luz roja, la sacarosa cambiaría su dirección hacia otros órganos, provocando la hiponastia.

Como puede observarse, los fisiólogos conocen muy poco sobre el control o regulación del ángulo de crecimiento de las ramas laterales. Cuando un hombre mira con asombro la maravillosa simetría de las copas de muchos árboles, desconoce el difícil problema que enfrentan los científicos para explicar esa armonía.

Edgardo R. Montaldi
Instituto de Fisiología Vegetal
Universidad Nacional de La Plata

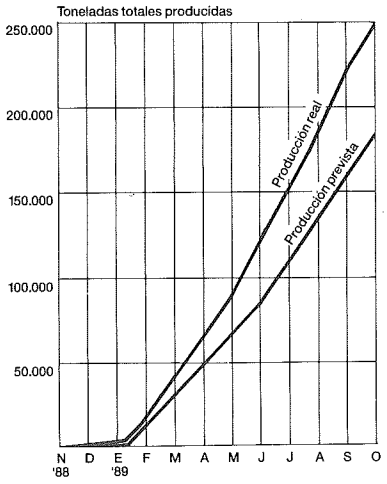
Hace un año Siderca ponía en marcha su nuevo laminador.

El nuevo laminador para tubos de acero sin costura de SIDERCA, inaugurado oficialmente el 21 de octubre de 1988, culminando un plan de inversiones superior a 610 millones de dólares, alcanzó y superó su capacidad de diseño en un tiempo sensiblemente inferior al previsto.



Los tubos producidos de acuerdo a las exigencias de calidad de las grandes compañías petroleras internacionales y del American Petroleum Institute (API) permitieron, una vez satisfechos los requerimientos del mercado interno, incrementar considerablemente las exportaciones a más de 40 países de todos los continentes.

Esta es una nueva realización de SIDERCA, concretada a través del esfuerzo mancomunado de sus obreros, técnicos y directivos. Ellos superaron eficientemente todas las dificultades que involucra la puesta a régimen de una gran fábrica, moderna y automatizada, donde trabajan directamente 5.000 personas.



TUBOS DE ACERO SIN COSTURA,
DESDE CAMPANA,
PROVINCIA DE BUENOS AIRES,
PARA LA ARGENTINA Y
EL MUNDO.

TECHINT

Siderca

León Olivé

Ciencia, científicos e identidad cultural

Nacido hace 39 años en la ciudad de México, León Olivé estudió matemática y filosofía en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y se doctoró luego en la Universidad de Oxford (Inglaterra) con una tesis sobre filosofía de las ciencias sociales. Es autor de *Estado, legitimación y crisis* (1985) y *Conocimiento, sociedad y realidad* (1988), además de compilaciones tales como *La explicación social del conocimiento* y *La ciencia y sus métodos*. En fecha próxima, Siglo XXI Editores publicará la más reciente, *Teoría y observación*, una antología sobre temas actuales de filosofía de la ciencia.

Olivé, quien en 1988 obtuvo el Premio de la Academia de la Investigación Científica de México, es actualmente investigador principal y director del Instituto de Investigaciones Filosóficas de la UNAM. Recientemente participó en el XII Congreso Interamericano de Filosofía, realizado en nuestro país, en el que presentó una ponencia sobre racionalidad y progreso científico. También dictó conferencias en la Universidad Nacional de Córdoba y en Montevideo. A su regreso a Buenos Aires, Olivé concedió a *Ciencia Hoy* la entrevista que sigue.

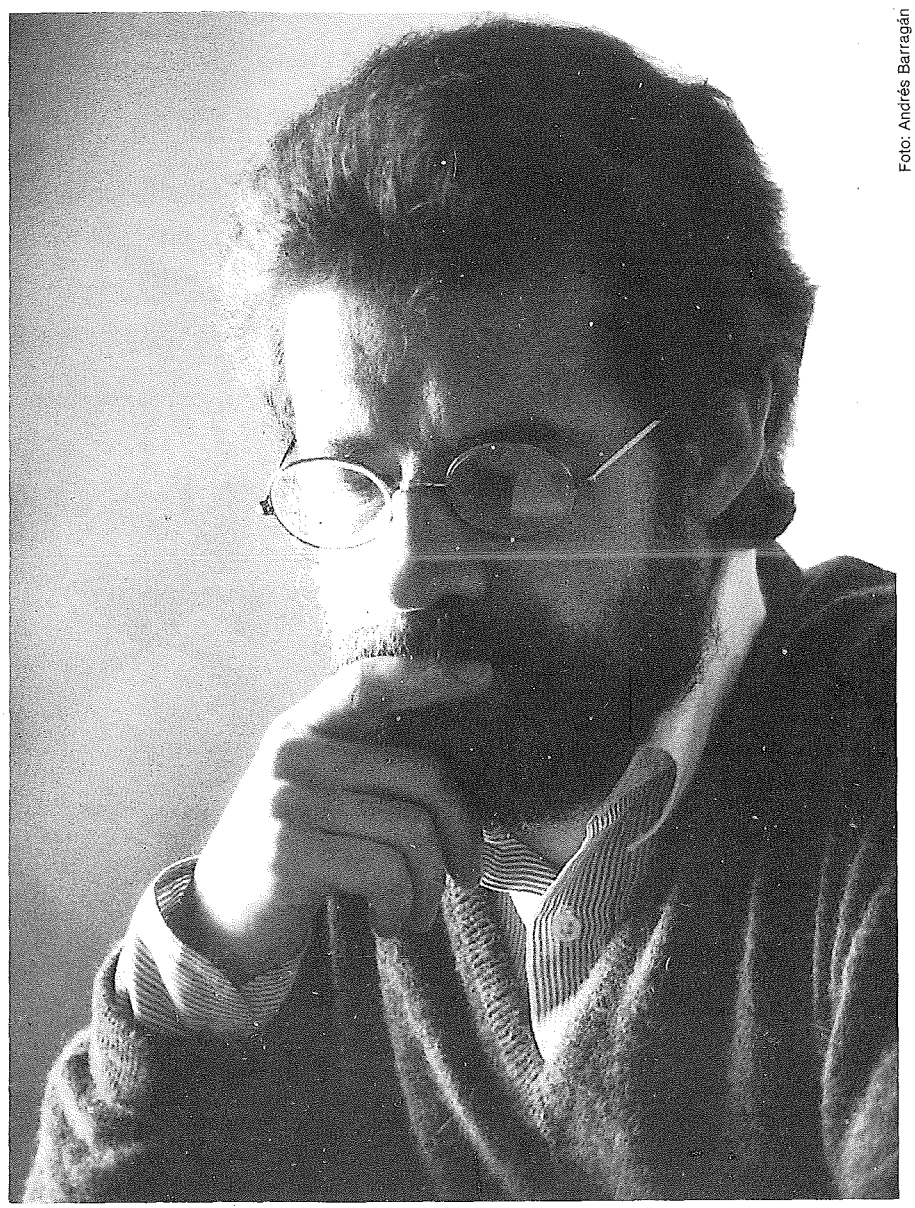


Foto: Andrés Barragán

Entrevista realizada por Osvaldo A. Reig (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires).

En nuestro país, la comunidad científica ha sido bastante opaca al reconocimiento de las interrelaciones de la vida social y la actividad científica; ha preponderado una actitud que podría calificarse de estrictamente cientificista o "mertoniana", al proclamar que la ciencia es una actividad pura y universal encerrada dentro de sus propios límites. ¿Qué opina usted al respecto, especialmente en el contexto de la racionalización de una actitud ante la ciencia en Latinoamérica?

Concuerdo con la opinión de que ésa ha sido la concepción dominante entre nosotros, tanto en el medio científico como en los responsables de diseñar y de llevar adelante las políticas de apoyo a la investigación científica y las políticas educativas correspondientes. Una idea de ciencia que me parece muy alejada de la realidad, de lo que es la actividad científica y de las concepciones sobre la ciencia que se han desarrollado en los últimos años desde diferentes perspectivas teóricas y filosóficas. Lo más grave de esta situación es que tiene consecuencias —que no son inocentes— en el tipo de políticas que se diseñan y en el de las investigaciones que se apoyan prioritariamente y se van conformando. Por ejemplo, haciendo un análisis de los protocolos de investigación, de los formatos para solicitar apoyos, puede uno darse cuenta de inmediato de los presupuestos que existen acerca de la actividad científica, del conocimiento científico, de los objetivos que se plantean para las investigaciones. Yo creo que esto también ha sido responsabilidad de quienes reflexionan sobre la actividad científica o sobre el conocimiento científico, como los sociólogos de la ciencia —cuya disciplina, por cierto, no se ha desarrollado mucho en América latina— y los que hacen filosofía de la ciencia. Si bien ésta trata una serie de temas que me parece muy importante que se aborden, especialmente en nuestros países, ha dejado de lado la interacción entre ciencia y sociedad. Sin embargo, en los últimos años ha habido un movimiento que intenta superar ese paradigma, aunque por ahora es débil en cuanto a la influencia y a los efectos que puede tener en la comunidad científica de nuestro medio y en los responsables de las políticas de investigación.

En el campo estrictamente epistemológico, en nuestro país *tiene cierta preeminencia últimamente la discusión en torno a* la escuela estructuralista —que toma a las teorías científicas como un objeto de estudio en sí mismo, a veces prescindiendo de su referencia a la realidad—. Pero los científicos profesionales no encuentran que esas indagaciones tengan demasiada incumbencia para su propia labor. En función de consideraciones de este tipo, ¿tiene usted alguna propuesta con respecto al tipo de epistemología que conviene hacer en una situación de desarrollo científico como la nuestra?

Creo que la tarea más importante que debe desarrollar la epistemología, no sólo en nuestros países sino donde quiera que sea, es esta búsqueda de integración entre lo que han sido conceptos tradicionales en teoría social y lo que han sido también conceptos tradicionales de la teoría del conocimiento entendida como disciplina filosófica. Hay algunos intentos interesantes, pero es un trabajo que requiere todavía mucho esfuerzo para redondearse.

Me parece importante entender el lugar que ocupa la ciencia en el sentido amplio dentro del sistema productivo en las sociedades y en los diferentes tipos de sociedades. Pero no hay que confundir el hecho de que la ciencia forme parte de un sistema productivo con que deba estar directamente relacionada o enfocada hacia una explotación inmediata. La aplicación en ese sentido debe ser una tarea de la tecnología, que, como sabemos, puede recurrir a la ciencia. Esto lleva a buscar la interrelación entre conceptos que se han utilizado en la teoría del conocimiento y en la filosofía de la ciencia, tan elementales y tan básicos como el de "teoría científica". Es necesario dilucidar el concepto mismo de "conocimiento científico" y también el tema de los métodos de prueba que se utilizan en las diferentes disciplinas científicas para aceptar o rechazar propuestas de nuevos conocimientos. Esto es lo que puede tener más sentido, en mi opinión, para la comunidad científica: una reflexión sobre el tipo de tareas que realiza efectivamente y sobre los resultados que produce y discute. Dicha concepción también se preocuparía fundamentalmente de un análisis de la actividad científica como tal, lo que incluye la manera cómo se organiza y el significado que dentro de todo este sistema de producción de conocimientos debe tener una actividad de carácter experimental.

En ese contexto, entonces, la noción de teoría y el análisis de las teorías y de su estructura conservan un lugar importante y adquieren, a su vez, un significado más preciso. Me parece que algunos análisis, como el que se hace desde la concepción estructural, dejan de lado todo este problema, no porque no le reconozcan importancia, sino porque, a veces, toman una posición neutral. Sin embargo, para conseguir una versión más acabada de su concepción se requiere necesariamente la dilucidación de una serie de conceptos importantes como el de "comunidad científica". Este término no entra en la formulación de sus reconstrucciones teóricas, pero es un concepto paradigmático que requiere un análisis a la luz de la teoría social para poder entender cómo se conforman, qué son las comunidades científicas y cómo han evolucionado.

Hay quienes dicen que no existe una comunidad científica en la Argentina, *sino un aglomerado de pequeños grupos de* investigadores independientes más o menos desconectados y desconfiados entre sí. Algunos atribuyen esa situación al hecho de que no haya una conciencia clara del derecho a la *conducción científica por parte de la comunidad.* ¿Usted atribuye a la comunidad científica un papel importante en la determinación de las corrientes teóricas y en la convalidación de las mismas? ¿Cuál es su idea de la comunidad científica?

Ese tipo de situaciones revela justamente la necesidad de desarrollar una reflexión epistemológica en los términos que estamos esbozando ahora. Con un mejor instrumental teórico será posible formarse una opinión sobre si efectivamente se puede hablar de una comunidad o no y bajo qué criterios. Mi opinión es que en nuestros países, en la medida en que se realizan investigaciones científicas, existe una comunidad científica; de hecho, una comunidad científica es una de las condiciones necesarias para efectuarlas, si lo que se hace es efectivamente investigación científica.

Yo buscaría, por medio del análisis de las metodologías utilizadas, de los métodos de prueba, qué tipo de normas y valores están en juego, qué tipo de objetivos se plantean en las investigaciones, en los proyectos específicos en desarrollo y en la convalidación de los resultados. A través de esto podría efectivamente localizarse la existencia de una comunidad científica e ir entendiendo cómo funciona.

Un estudio de dos investigadores franceses que trabajan en Africa, Yvon Chatelin y Rivas Arvanitis, demostraba bastante convincentemente que la mayor parte de la investigación básica y aplicada, útil para los países africanos en el campo de la agronomía, no aparecía en revistas trasnacionales, sino en revistas locales. Eso, sin embargo, estaba en contra de los criterios de la comunidad científica, según los cuales la excelencia sólo se reconocía si se publicaba en una revista trasnacional. ¿Cree usted que dicha forma de "esquizofrenia" caracteriza tambien a nuestra comunidad científica?

Una comunidad madura es aquella que puede realizar evaluaciones y juicios de acuerdo con estándares que tiene internalizados. En la medida en que no lo están, se recurre a estándares externos. La inmadurez de la comunidad no implica que no exista. Pero llega un momento en el que aquel punto merece una discusión intensa por parte de nuestras comunidades científicas y las de los teóricos relacionados con lo que estamos hablando: sociólogos, filósofos de la ciencia. En cualquier caso, no debería ponerse en duda la importancia del trabajo juzgado por expertos calificados de nuestros propios países. Otro reconocimiento puede ser su publicación en las revistas internacionales. Aunque algún tipo de investigaciones, importante para nosotros, puede no coincidir con los temas que les interesa impulsar a ciertas publicaciones.

¿La ciencia progresa sencillamente tratando de alcanzar metas de excelencia obtenidas en los lugares más desarrollados, a través de sustituciones más o menos revolucionarias de paradigmas, o lo hace mediante un crecimiento gradual donde se van sustituyendo las explicaciones científicas anteriores por otras de mayor profundidad?

El progreso científico ciertamente no debe verse en términos de una mera acumulación de conocimientos, como si el trabajo del científico fuera el descubrimiento de verdades que siempre han existido de una manera "objetiva" y completamente independiente de la forma en que las comunidades ven al mundo. Desde fines de los años '50 la noción de observación científica sufrió un cambio radical a partir del trabajo de filósofos e historiadores de la ciencia, entre los que se destacaron Kuhn, Hanson, Toulmin y Feyerabend. Lo que se consiguió dentro de la comunidad filosófica fue echar abajo la concepción de los empiristas lógicos de una observación neutral, de la posibilidad de obtener datos del mundo real que estuvieran completamente descontaminados de teorías. La concepción misma de lo que es observar, de lo que cuenta como observación en ciencia, ha cambiado y cambia constantemente, de acuerdo al desarrollo que tienen las teorías.

En este sentido, y según las informaciones y los análisis de los que podemos disponer y la discusión teórica actual, no me parece que la propuesta de Kuhn —una sucesión de cambios revolucionarios alrededor de la historia de la ciencia— sea la más adecuada. Debemos ver el progreso científico en términos de los marcos conceptuales de los que dispone una comunidad científica en un momento determinado y de la manera en que van desarrollándose. Dentro del movimiento que tienen los marcos conceptuales en ciencia a lo largo de su historia, uno de los motores fundamentales es el de las controversias científicas. Estas pueden terminar por medio del diálogo y llegar a un consenso alcanzado racionalmente. Pero, en ocasiones, las controversias se mantienen durante mucho tiempo y pueden terminar por otros factores de tipo no propiamente epistémico, sino sociales, externos a la actividad científica misma. El progreso real de la ciencia incluye la posibilidad de controversia y, dentro de ella, la discusión racional en la que se presuponen estos marcos conceptuales con sus normas, valores y creencias previas. Aunque esto muestra al conocimiento científico como una línea progresiva, no nos obliga a verlo como algo incorregible.

El desafío de la epistemología es entender qué significa que el conocimiento científico sea objetivo y, a la vez, un producto socialmente construido.

Yo diría que, básicamente, las teorías científicas están conformadas por modelos icónicos, de representación de la realidad. En una disciplina, por lo tanto, el progreso puede verse también como la construcción de modelos más afinados y con mayores detalles de aquello que pretenden representar. Esto evita la visión del progreso como una tendencia hacia una gran teoría que describiera completamente el universo.

Pero tampoco debemos dejar de lado los factores causales en el desarrollo de la ciencia, que hacen surgir cierto tipo de creencias, cierto tipo de conocimientos, cierto tipo de programas, junto con los factores epistémicos, que nos dan las *razones* para aceptar una creencia.

¿Podría desarrollar un poco el tema de los factores causales?

Es uno de los puntos centrales que debe trabajar una sociología del conocimiento. En él se sostiene la tesis general de que las creencias y los conocimientos surgen de un contexto social y que, por lo tanto, se pueden establecer sus relaciones causales como efectos de ciertos tipos de factores que estarían en el entramado social.

Para verlo en detalle tendríamos que desarrollar más esta teoría social. La idea no es establecer simples correlaciones entre la aparición o preponderancia de cierto tipo de teorías y ciertos elementos extraepistémicos o extracientíficos, sino poder sostener, con buenas razones, que existe una relación causal entre algunos de esos factores y ese tipo de conocimientos. Esto es importante como programa y debe atenderse; así podrán reconstruirse los diversos modelos de desarrollo científico.

Se tiene la impresión de que aquellas disciplinas científicas que están en una etapa más atrasada de desarrollo epistémico son mucho más reacias al entendimiento y la discusión entre interpretaciones o teorías alternativas. Por ejemplo, en la psicología, las distintas escuelas parecen desconocerse totalmente; en biología existe una contraposición de escuelas: la escuela neutralista y la escuela panseleccionista, la escuela gradualista y la saltacionista, por ejemplo, que discuten entre sí y se respetan, pero se excluyen. En otras ciencias la confrontación es mucho más respetuosa de la posibilidad de acercamiento a una explicación parcial de las escuelas opuestas. Feyerabend decía que el buen empirista tiene que aceptar la teoría contraria con los brazos abiertos porque ésta le permite convalidar o rechazar la propia. ¿Hay una relación entre el crecimiento de las distintas ciencias y la posibilidad de diálogo y de interacción entre paradigmas confrontantes?

La actitud más madura es la de establecer un diálogo racional. Aquí aparece nuevamente el trabajo de la epistemología. El hecho de que los científicos volteen los ojos a este tipo de análisis es importante en la medida en que puede revelar los presupuestos de racionalidad implícitos en las actividades y en las pretensiones de conocimiento de cada escuela y, a su vez, también las diferencias que pudieran existir. No pienso que haya una metodología universal aplicable a todas las escuelas o disciplinas, pero sí ciertos principios generales de racionalidad que presuponemos en nuestro lenguaje cotidiano, inclusive, y que son los que realmente harían posible el diálogo entre diferentes escuelas. Esto supone el estar dispuesto a modificar algunos de los principios básicos que conforman los paradigmas más específicos que definen a las escuelas en particular. Lo que ocurre en muchas ocasiones es que no hay disposición a entrar en un diálogo racional con los competidores ni a modificar nuestros presupuestos, cosa que debiéramos poder hacer.

Todo esto tendría que ser moneda corriente para los científicos mismos y no materia a delegar en un pequeño grupo de especialistas como ocurre aquí, en la Argentina. Por ejemplo, el tema del progreso científico debería ser prioritario como tema de reflexión en un investigador. ¿Qué observa usted al respecto en su país y en otros países de América latina?

Me temo que la situación en México es muy parecida a la que usted plantea en la Argentina. Efectivamente no es una preocupación central, ni aun una preocupación de la comunidad científica en su mayor parte. Sí existe una inquietud en este sentido en algunos sectores y creo que en algunas figuras líderes de la comunidad científica, incluso en muchos jóvenes investigadores que ya tienen un nivel destacado. Si bien esta inquietud es todavía pequeña en cuanto al impacto que puede tener en la comunidad, se puede ser optimista en que irá creciendo.

Dicha preocupación lleva consigo el interés por mantener este diálogo también con la gente que toma la ciencia como su objeto de reflexión. Un mayor desarrollo de este tipo de comunicación y una incidencia mayor de estas reflexiones serán útiles para la orientación de los mismos científicos en los problemas que hemos estado comentando. Por ejemplo, en qué medida, bajo un entramado conceptual más fino, lo que muchos científicos pretenden estar haciendo como ciencia pura o ciencia básica no es en realidad otra manera de desarrollo tecnológico, impulsado por cierta ideología dominante con respecto a lo que debe ser la ciencia.

¿Cómo ve usted la situación de la epistemología en nuestro país?

He encontrado gente que está desarrollando algunas líneas de investigación muy importantes, interesantes y actualizadas, en relación incluso a lo que hemos estado comentando. Por otro lado, me parece que hay poca gente, algunos con una preparación muy buena y mucho talento. Pero —en tercer lugar— es cierto que, dentro de la poca gente que trabaja en esto, hay un sector que lo hace con una concepción muy limitada, en mi opinión, y otro que quizá carece de una información y una formación adecuadas.

No debemos aceptar que, por una supuesta universalidad de la ciencia, se la desvincule del resto de nuestra cultura.

Otra cuestión que me parece muy importante es que podamos desarrollar una interacción mucho más intensa y estrecha entre los que reflexionamos sobre la ciencia; pero también entre nosotros y los científicos, cosa que estamos buscando promover en México y que, espero, se pueda promover aquí.

En la Argentina, la preocupación por una indagación crítica sobre el quehacer científico está surgiendo de los científicos jóvenes, inclusive de los más jóvenes. En la ciudad de La Plata se creó la Asociación Platense de Epistemología, formada por graduados recientes y estudiantes, en la ciudad de Córdoba hay otro movimiento de gente bastante joven, y en la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires los intereses de este tipo están siendo promovidos por los estudiantes de doctorado más que por los propios investigadores.

También en México esa preocupación, en realidad, forma parte de un movimiento que surge en los últimos años. Quizá la ventaja que yo veo en mi país en relación a lo que me describe, es que la inquietud ha surgido de jóvenes investigadores científicos, pero ya con muy buena formación y muy buena base científica. Sin embargo, lo que ocurre con ellos es que tienen un desconocimiento grande de los problemas filosóficos que presenta su propia actividad. En ese sentido también nosotros tenemos mucho que hacer.

Debemos reflexionar acerca de la manera en que queremos que se desarrolle la investigación científica en sociedades como la nuestra, para qué, en función de qué fines y de qué valores. Yo creo que una de las grandes amenazas que ha ido creciendo de manera clara en nuestro tiempo tiene que ver con un proceso de trasnacionalización. En nuestro país hay un argumento que creo incorrecto, pero que se utiliza en función de una idea universalista de la ciencia: hacer aparecer la investigación científica con objetivos y metas que se plantean como trasnacionales. Con ese argumento se querría justificar la idea de abstraer la investigación científica de la discusión acerca de qué tipo de sociedad queremos y debemos buscar. Yo defendería la idea de preservar y desarrollar nuestra cultura como tal, como una cultura peculiar, y creo que la ciencia es parte de ella y que bien podemos desarrollar la investigación científica de una manera acorde con el tipo de cultura que somos en América latina y que queremos seguir siendo. Entonces no debemos aceptar que, por una supuesta universalidad de la ciencia, se la desenganche del resto de nuestra cultura y se nos pasen de contrabando una serie de valores, principios y objetivos que no son los que nuestra sociedad está planteando o no son los que debería plantearse.

Insisto en que esto no sugiere poner en duda que el conocimiento científico debe ser efectivamente un conocimiento objetivo, que apunta a un conocimiento genuino que diga verdades acerca del mundo. Justamente lo interesante de toda esta reflexión es entender qué quiere decir que el conocimiento sea un conocimiento objetivo y, sin embargo, sea a la vez un producto socialmente construido, inmerso en una cultura, un factor cultural más. Yo creo que el desafío de la epistemología hoy en día es entender esto. Y es importante que lo entiendan los científicos para poder plantearse de una manera más consciente sus objetivos. ⊙

Enrique Gaviola: Canto a la Argentina Científica

En 1910, en su "Canto a la Argentina", el poeta nicaragüense Rubén Darío exaltaba el nacimiento de una potente nación cuya grandeza espiritual y material se fundaba en la capacidad de recibir a hombres de todo el mundo sin hacer ningún tipo de discriminación ("Te abriste como una granada,/ como una ubre te henchiste,/ como una espiga te erguiste/ a toda raza congojada") y convocaba a nuevos hombres a participar de un brillante porvenir vislumbrado como único en el mundo ("Llegad, hijos de la astral Francia . . . Vástagos de hunos y de godos/ ciudadanos del orbe todos/ . . . llegad"). Claro, hoy lo sabemos, el futuro previsto por el poeta no se hizo realidad. ¿Se encuentra en la base del fracaso la arraigada creencia argentina de que el bienestar y el progreso material se asocian exclusivamente a nuestra "inagotable" riqueza natural? El propio Darío participa de esta convicción, y en tanto cree que hemos de ser el "inexhausto granero del mundo", en su extensísimo poema, la valoración "del pensamiento" es tema que apenas se insinúa, y de manera harto retórica.

Si hubiéramos sido más pobres, seríamos, tal vez, más ricos. . . La Pampa, símbolo de perpetua bonanza, fuente de inagotable bienestar ("¡Oh Pampa! ¡Oh entraña robusta, mina de oro suprema", dice el poeta) intervino, permanentemente, en el diseño de nuestro destino. Y mientras tanto, en su torre de marfil, por voluntad propia y ajena, quedaban los científicos. . . Hasta no hace mucho, pocos hombres hubo que creyeran firmemente en la alianza inextricable del progreso económico y el desarrollo de las ciencias o que, viceversa, encontraran en nuestros permanentes fracasos económicos otras causas exteriores a las estrictamente económicas.

Pero el canto al progreso logrado a través de una Argentina científica, aquel que debía exaltar la necesidad de convocar a los hombres de ciencia del mundo entero con la intención de realizar "una revolución industrial, científica y cultural para el país" encontró, también, su momento. Fue en 1946, bajo la sencilla forma de un memorándum titulado "La Argentina y la era atómica". Lo publicó la *Revista de la Unión Matemática Argentina* en su vol. XI, y merece ser leído, pues su significado profundo es inseparable del estilo vehemente y conciso, incluso poético, con que el autor, Enrique Gaviola, expone sus más hondas convicciones. En ajuste perfecto entre forma e intención, el discurso de este memorándum no admite resumen o paráfrasis. ¿Cómo podríamos resumir, por ejemplo, el pensamiento del autor acerca de "los recursos propios" si la esencia del mismo queda atrapada en una insistente repetición que martillea en el párrafo y lo impregna de sentido: esos veinte únicos físicos y químicos que por entonces teníamos y eran presagio de un pobre futuro?

Otro sería nuestro destino si en lugar de ser veinte fueran mil, reflexiona el autor: "Si tuviéramos mil —y entre ellos tres o cuatro de primera línea— la industria podría abrir laboratorios industriales, las universidades podrían tener profesores que supiesen enseñar a investigar investigando, los institutos y laboratorios podrían publicar trabajos que serían recibidos en las páginas de revistas científicas internacionales y podríamos construir institutos tecnológicos. Pero tenemos veinte."

Formar científicos y traer otros del extranjero era, en consecuencia, un imperativo; a él, por otra parte, había dedicado Gaviola ya muchos años de su vida. Pero en este 1946, las condiciones internacionales le parecen óptimas para lograr su propósito. No en vano el memorándum comienza citando la denuncia del físico Edward Condon sobre la censura impuesta a los científicos norteamericanos por razones de interés nacional. Y es que "ante tal situación es alto privilegio y clara conveniencia de los países no directamente interesados en la tercera guerra mundial levantar y mantener encendida la antorcha de la ciencia libre internacional". A lo largo de este breve texto se insiste una y otra vez sobre la necesidad de aprovechar en nuestro beneficio "la inseguridad económica y política de Europa y la imposición de secreto y de censura en los Estados Unidos y en los principales países de Europa", porque como consecuencia de esta situación, los científicos sobresalientes, que en otros tiempos no hubieran podido ser atraídos, "vendrían a la Argentina si se les dieran los medios para investigar y para enseñar y la seguridad de que podrían trabajar con libertad y dar a publicidad sus resultados sin interferencias". Gaviola propone, entonces, la creación de una "Comisión Nacional de Investigaciones", organismo destinado fundamentalmente a inspirar confianza y a asegurar medios de trabajo y libertad científica a esos "centenares de hombres, con los mejores a la cabeza" que estarían dispuestos a radicarse aquí.

El proyecto no se concretó, como muchos otros auspiciados por él. No se puede hablar, sin embargo, de fracasos, porque muchos de estos proyectos se realizaron después, en un tiempo que si no lo tuvo como protagonista, lo tuvo por precursor. Ilustra muy bien esta situación un hecho que nos refiere Fernando Colomb, director del Instituto Argentino de Radioastronomía: "En 1956, Gaviola ofreció argumentos teóricos que demostraban que el Norte Chico chileno era una región de muy alta calidad de cielo y propuso la instalación de un observatorio interamericano en el que colaborarían la Argentina, Chile y Uruguay. Este proyecto no se llevó a cabo, pero sus sólidos argumentos fueron recogidos por comisiones de norteamericanos y chilenos que hicieron las mediciones del Norte Chico y encontraron que, efectivamente, la calidad del cielo era muy buena. Por esta razón se instalaron allí tres grandes observatorios: el Observatorio Interamericano de Cerro Tololo, el European Southern Observatory y el Carnegie Southern Observatory".

Tampoco vinieron al país "los centenares de hombres" que su visión reclamaba, pero sí llegó, en 1943, gracias a su gestión, don Guido Beck, a quien tanto deben la física argentina y brasileña (véase *Ciencia Hoy*, N° 2, pág. 56). Al respecto dice Mario Mariscotti en un artículo sobre "Hechos y personajes en la historia de la Asociación Física Argentina" publicado en la revista de esta asociación (N° 1, 1983): "[Gaviola] supo apreciar la oportunidad de tener a Beck en la Argentina como ninguno de sus contemporáneos. Su entrenamiento excepcional en los mejores centros de Europa y Estados Unidos lo habilitaba para discernir qué era lo importante para el desarrollo científico del país. No es exageración: Beck se había ofrecido unos meses antes a la Universidad de La Plata, pionera en el campo de la física en Latinoamérica. . . y había sido rechazado." "La física argentina —dice más adelante— necesitaba urgentemente un Beck. También necesitaba de un Gaviola alerta y preparado para advertirlo."

Convocado por su iniciativa, hubiera llegado, también, Werner Heisenberg, pilar de la teoría cuántica, pero una serie de de-

safortunadas circunstancias —las describe con interesante minuciosidad M. Mariscotti en *El secreto atómico de Huemul*— impidieron que a último momento se concretara su venida.

Dibujar el retrato de Enrique Gaviola científico, docente y político científico no es fácil, al menos en tan breve espacio, ya que podría oscurecerse agobiado por un exceso de datos. Pongamos, entonces, en contacto, unas pocas fechas, de cuya relación bien pueden surgir aquellos rasgos que han caracterizado esta vida singular.

En 1917 comienza en La Plata la carrera de ingeniería, los estudios "más exactos", ha dicho, que por entonces se conocían en su provincia, Mendoza. Cuando dos años más tarde se encuentra con su verdadera vocación no elude el reto: estudiará física y en Alemania, centro de máxima excelencia. Se recibe entonces de agrimensor para poder trabajar, y trabaja durante más de un año para poder viajar. ("En aquella época no era fácil para un estudiante de 18 años obtener una beca o un subsidio. Tampoco se me ocurrió pedirlo", confía en 1977 en Bariloche a los jóvenes egresados del Instituto Balseiro.)

En 1922 está, ya, en Alemania. Los más famosos físicos de esta época brillante son sus profesores. En Berlín, durante 1924-1925 firman su libreta universitaria, Albert Einstein, Walter Nernst, Max von Laue y Lise Meitner. Su proseminario, el examen más importante que precedía a la tesis, fue dirigido por Max von Laue, el descubridor de la difracción de rayos X. En 1988, anciano y enfermo, aún recordaba con particular vehemencia ese examen, pues había en aquellos años una controversia entre alemanes y norteamericanos acerca de determinadas cuestiones y él se atrevió a sostener, ante el tribunal compuesto por A. Einstein, L. Meitner y P. Pringsheim "que los trabajos experimentales norteamericanos estaban mejor hechos que los de ella (L. Meitner)". Más allá de la anécdota, interesante debido a la importancia de los personajes, se vislumbra ya aquí un dato de su personalidad que lo llevó, con el tiempo, a enfrentamientos e intransigencias que afectaron negativamente (porque la limitaron) su vasta acción en la Argentina.

En 1927 decidió trasladarse a los Estados Unidos y solicitó una beca Rockefeller, que le fue negada con el argumento de que nunca se habían otorgado tales becas a ningún latinoamericano. Unida a este suceso quedó, imborrable, la imagen de Albert Einstein: "Yo le mostré eso a Einstein y Einstein se enojó, y ahí mismo, sobre el borde de la escalera, le escribió una carta al representante de la Rockefeller".

Foto cortesía A. P. Maiztegui

Entre 1927 y 1929 trabajó, primero, con Robert Wood, eminente físico experimental a quien siempre admiró por su formidable capacidad de trabajo y la vocación compartida de "hacer con las manos"; luego, en la Institución Carnegie de Washington, que lo contrató para trabajar en lo que puede considerarse antecedente importante de un acelerador de partículas con el que se obtuvo un potencial de cinco millones de voltios. "Por tal razón —explica M. Mariscotti en la obra citada—, una foto en la que se ve el gran transformador Tesla y a Hafstad, Gaviola y Tuve (. . .), está expuesta en el Museo de Ciencia y Tecnología de la Smithsonian Institution en Washington DC."

En 1930 regresa a la Argentina. Sabe que abandona la posibilidad de realizar una importante carrera científica en la época más brillante de la física, pero desea hacer algo por su país, así lo ha manifestado en muchas oportunidades. Su vocación por la política científica se puso de manifiesto de inmediato, pero no abandona las actividades científicas y se dedica, también, a la docencia.

Incansable, Gaviola fundó institutos, armó laboratorios, fue director del Observatorio Astronómico de Córdoba y profesor en diversas universidades. Promovió la creación de la Asociación Física Argentina, de la que fue el primer presidente. Recogió la admiración y el respeto de muchos discípulos. Oscar Bressan, que dio a su maestro afecto filial, lamenta que se haya abandonado su hábito de ilustrar las clases con experimentos. "Aunque la física es una ciencia experimental, los experimentos se hacen, hoy, con tiza y borrador porque, por lo general, son difíciles de realizar. Gaviola hacía el experimento en la clase. Pero lo que yo quiero destacar es el hecho de que Enrique Gaviola fue un hombre muy estricto consigo mismo. Toda su vida pública y privada se ajustó a una escala de valores de la que nunca se apartó."

Alberto P. Maiztegui recuerda la consagración de Gaviola a sus alumnos; "les daba, dice, lo más valioso que un científico tiene: su tiempo. Además, quiero destacar, pues es conocido su carácter difícil, que siempre brindaba a sus alumnos y colaboradores un tratamiento profundamente respetuoso. Una manera de respetar era exigir".

A poco de llegar al país, en 1931, Enrique Gaviola escribió una carta al Presidente de la Nación solicitándole que enviara al extranjero a veinte jóvenes universitarios. No le cabía duda de que éstos, a su regreso, se convertirían en los nuevos profesores universitarios y resolverían *todos* nuestros problemas académicos. . . Este entusiasmo, esta vocación por fundar las bases de una sólida comunidad científica, sustentó toda la acción de Gaviola en la Argentina. Muchos de sus proyectos fracasaron, a veces porque su entusiasmo le dictó utopías, otras veces porque suele ser pasión argentina estropear buenos proyectos, otras, por causa de su carácter difícil e intransigente. Pero, ha sido dicho, muchos de estos proyectos encontraron un "después" y demostraron cuán aguda había sido la mirada de su autor. En 1977, al despedir a los jóvenes egresados del "Instituto Balseiro" en Bariloche, Gaviola trazaba así su propio retrato: "El 6 de junio de 1926 asistí a la ceremonia ritual de la graduación. Había que concurrir al despacho del rector en traje de etiqueta (. . .) hincar una rodilla en tierra y recibir el espaldarazo dado con un diploma simbólico, enrollado. La ceremonia me produjo profunda impresión: con el espaldarazo del rector había sido armado caballero de la física. Pronto empecé a librar combates singulares (. . .) Por supuesto, en la mayoría de los casos, salí descalabrado."

Pero ni éxitos ni fracasos circunstanciales definen a este hombre singular. Lo define su gran proyecto y visión del progreso nacional asociado al desarrollo y al perfeccionamiento científico. Por eso hoy, cuando tantos argentinos emigran o piensan en hacerlo, rendimos homenaje a Enrique Gaviola, que acaba de fallecer en su Mendoza natal.

Susana Frentzel Beyme
Ciencia Hoy

Y era una sola flor la tierra

José A. Catoggio
Centro de Investigaciones del Medio Ambiente
Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata

La contaminación del medio ambiente ha alcanzado, hoy, niveles intolerables. ¿Cómo revertir la grave situación actual? ¿Qué se debe hacer frente a los problemas que acarrean las industrias ya existentes basadas en procesos tecnológicos ''sucios''? ¿Cuándo debe permitirse su instalación porque no existen alternativas ''limpias'' posibles? Sólo planes concretos, serios y factibles podrán transformar, gradualmente, esta situación.

Ilustración: Raúl Torres

Mi flor de k'antu,
mi hermosa flor del monte,
¿qué picaflor te hirió,
qué picaflor te envenenó,
flor de k'antu,
que ya no puedes florecer?

Desde la hora en que fue herida
la flor del monte,
la flor morada
se secó,
la flor morada se desprendió.

Ya el k'antu no tiene flor.
La flor del k'antu murió.
Moviendo sus alas doradas,
un picaflor,
un picaflor errante,
la desangró.

(Huayno de indios recogido en Puquio por José María Arguedas)

A partir de la era industrial y aceleradamente en las últimas décadas, el equilibrio natural del medio ambiente ha sufrido gravísimas alteraciones. Los mecanismos de autodepuración, que mantuvieron su composición más o menos constante a lo largo de los siglos, no han podido controlar los efectos de la actividad de un hombre compelido por urgencias desconocidas hasta no hace mucho tiempo. En la base de la situación actual, la explosión demográfica y las consecuentes concentraciones urbanas han obligado a la instrumentación de múltiples procedimientos tecnológicos y conductas cuyas consecuencias resume, en bellísima imagen, el poeta Pablo Neruda: "Venecia desapareció/debajo de la gasolina,/Moscú creció de tal manera/que murieron los abedules/desde el Kremlin a los Urales...".

La atención, prestación de servicios y abastecimiento de los grandes conglomerados urbanos, es un desafío, fundamentalmente en los países en vías de desarrollo donde las migraciones internas han producido asentamientos precarios tales como nuestras "villas miserias". Altas concentraciones de gases y vapores tóxicos o insalubres y hollín, consecuencias de un parque automotor y de usinas termoeléctricas deficientes o no siempre debidamente operados, unidos a condiciones climáticas especiales, llegan a producir *smog* o, al menos, en las llamadas horas "pico", una atmósfera tan viciada que ha obligado a montar en muchas grandes ciudades del mundo sistemas de monitoreo, alarmas y restricciones en el tránsito. En nuestro país, estas situaciones son bien conocidas en los polos industriales, fundamentalmente en el eje Rosario-La Plata, a lo largo del Paraná y sobre la margen sur del Río de la Plata.

El gravísimo problema de la contaminación de las aguas en los grandes centros urbanos puede ilustrarse acabadamente describiendo la situación actual de nuestra área metropolitana. En efecto, las circunstancias han llevado a una sobreexplotación de acuíferos confinados con intrusión de aguas salobres, hecho que determinó, por ejemplo, en la ciudad de La Plata, la clausura de pozos que alimentaban las redes de distribución de agua potable. A esto se suma la aparición de concentraciones crecientes de nitratos que sólo han podido ser corregidas por dilución con agua de río, cuyo tratamiento resulta tanto más costoso cuanto mayor es el grado de contaminación ribereña, sea por aguas servidas, sea por vuelco de efluentes industriales.

El número de habitantes que no tiene acceso a las redes oficiales de distribución de agua potable o de colección de desagües cloacales es alarmante. Se estima que tan sólo en la ciudad de La Plata más de un 20% de la población carece de agua potable; ésta es suplida por la que proviene de perforaciones improvisadas, la mayoría de las cuales sólo llega hasta la napa freática, con lo que ello significa en cuanto a riesgo de contaminación. Hay partidos del Gran Buenos Aires en los que más del 90% de los habitantes padece esta situación. Ni las "aguas negras" de la Capital Federal, que vuelcan a la altura de Berazategui, ni los líquidos cloacales de La Plata son tratados, aunque éstos, por incorporarse al río en Palo Blanco, no afectan, felizmente, a poblaciones costeras aguas abajo. Líquidos cloacales sin tratamiento se vierten en cuerpos de agua cerrados y se provocan así, por la cantidad de nutrientes y las condiciones climáticas, sobre todo en verano, procesos de eutroficación causantes de mortandad de peces, rellenamiento paulatino de cuencas, etc. Esto sucede en buen número de lagunas de la provincia de Buenos Aires.

Las causas de contaminación de origen urbano crecen exponencialmente con la población, de allí las situaciones críticas que exhibe nuestra área metropolitana. Las perturbaciones afectan no sólo la salud de los habitantes, sino también los materiales de obras civiles y monumentos que por su interés económico, cultural, histórico, estético y hasta paisajístico hacen a la calidad de vida del hombre. Estas situaciones podrían evitarse si se planificara adecuadamente el desarrollo de las zonas industriales que por su demanda de mano de obra atraen pobladores y generan, en consecuencia, verdaderas aglomeraciones. Por otra parte, los efluentes y residuos que provienen de industrias basadas en procesos tecnológicos "sucios" o "peligrosos" son la fuente de contaminación más difícil de manejar en estas grandes concentraciones urbanas.

La mayor parte de las industrias no extractivas —y hoy día aun muchas de las extractivas—, sea que se funden en reacciones químicas de síntesis de compuestos orgánicos en general, en separación de componentes de mezclas preexistentes o en su descomposición para generar nuevas fracciones (*topping* y *cracking*, respectivamente, en la industria del petróleo), en modificaciones de productos naturales (celulosas modificadas, curtido de cueros, etc.), en el aprovechamiento de acciones biológicas sobre sustratos también naturales (fermentaciones industriales, biotecnología) o procesen exclusivamente minerales (materiales de construcción, vidrios cerámicos y toda la gama de ácidos, bases y sales inorgánicas), usan necesariamente materias primas que de manera directa o indirecta pueden ser peligrosas. Aplican, además, procesos tecnológicos que modifican dichas materias unas veces a altas temperaturas o presiones, otras, recurriendo a catalizadores por medio de los cuales no sólo se obtiene el producto principal sino que se forman subproductos en distinto estado físico. Estos subproductos acaban siendo liberados, sea al aire en forma de efluentes gaseosos o sólidos finamente divididos y en suspensión estable, sea a cuerpos de agua como líquidos con mayor o menor carga disuelta. Dejan, también, distintos tipos de residuos sólidos o semipastosos, que alteran la calidad del cuerpo receptor —aire, agua o suelo— de manera diversa, según su naturaleza, concentración y condiciones de temperatura, presión, pH y potencial de óxido-reducción.

Resulta, entonces, indispensable realizar estudios previos a la instalación de nuevas industrias. Se impone evaluar los pro y los contra de cada etapa de todo proceso no sólo a la luz del viejo criterio de costo/beneficio, rendimiento o lucro sino, además, de impacto ambiental y costo social. No puede justificarse, hoy, la implantación de industrias probadamente "sucias" sin agotar el estudio y la investigación de procesos alternativos "limpios". En nuestro país, por ejemplo, se ha insistido y se insiste aún en la necesidad de montar en San Antonio Oeste (Provincia de Río Negro) una planta de soda Solvay que permita obtener el carbonato de sodio anhidro (Na_2CO_3) imprescindible para el de-

sarrollo industrial. En la actualidad se lo importa, con la consiguiente e innecesaria erogación de divisas. Ahora bien, se trata de una industria "sucia", contaminante y además antieconómica. Difícilmente haya una industria, excepto las mineras, en que la ganga excede en mucho a la mena, que produzca más desecho que producto principal. Sin embargo éste es el caso de la soda Solvay ya que por cada 106 kilos de carbonato de sodio anhidro se generan 111 kilos de cloruro de calcio ($CaCl_2$) que no tiene ningún tipo de aprovechamiento, y es tan higroscópico, tiene tal avidez de agua, que fija hasta el sereno nocturno en zonas áridas. Además, posee la particularidad de ser delicuescente, es decir que se solubiliza en la propia agua de cristalización, por lo que no se lo podría mantener estibado, sino que iría percolando por el suelo, endureciendo las napas o modificando el pH del agua costera. El carbonato de sodio anhidro se produce hoy a menor costo, sin desecho alguno, por neutralización de los excedentes de soda (hidróxido de sodio) remanentes de la generación de cloro por electrólisis —el que se usa, por ejemplo, en la fabricación de policloruro de vinilo—, con anhídrido carbónico obtenido en la purificación del gas natural Ambas materias primas coexisten en Bahía Blanca pero no se las utiliza para la producción de carbonato de sodio anhidro.

En ninguna parte del mundo existen países medianamente desarrollados que hayan construido una fábrica de soda Solvay en el último medio siglo, y aquí, en un área que es reserva mundial de fauna, se pretende instalarla ahora... Es necesario impedir que se concrete este proyecto y canalizar a la vez las legítimas expectativas de la población hacia nuevas fuentes de trabajo. Han de aprovecharse para esto las características portuarias de la zona y las peculiaridades de su fauna, que permiten propiciar el establecimiento de plantas industrializadoras de los productos del mar o del desecho de la fruta del Valle de Río Negro que se exporta por esa vía.

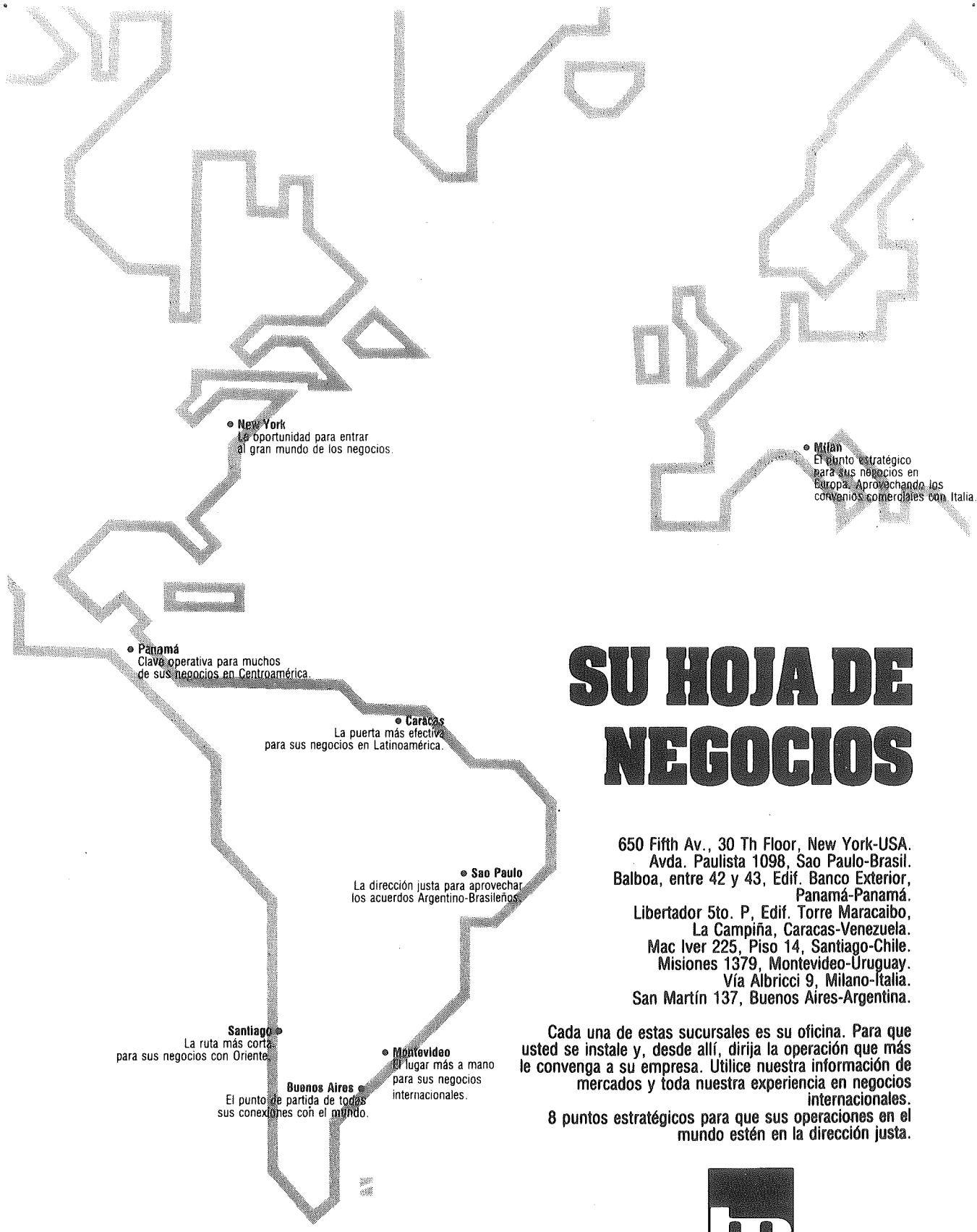
Hemos de considerar ahora el caso de industrias "sucias" que no pudieran ser reemplazadas por otras alternativas "limpias" y que fueran, además, productoras de bienes necesarios para el país. Bajo estas circunstancias sólo debería permitirse su instalación si se hubieran realizado previamente ciertas investigaciones y tomado algunas medidas que enunciaremos a continuación: (a) determinación de las características edáficas del terreno; (b) estudio hidrológico que asegure la capacidad depuradora del cuerpo de agua receptor y excluya la posibilidad de contaminación de acuíferos confinados; (c) conocimiento acabado de la intensidad de los vientos dominantes y de su dirección con respecto a los centros poblados susceptibles de ser afectados; (d) formulación de propuestas concretas, factibles y eficaces para tratar los efluentes y reducir así la concentración de los contaminantes previsibles por debajo de los valores aceptables; (e) previsión de espacios intermedios entre industria e industria y entre ellas y las poblaciones para que éstas puedan expandirse y crear cinturones depuradores verdes intermedios; (f) consideración de los efectos acumulativos y eventualmente sinérgicos de los contaminantes con relación a la capacidad de dilución o dispersión de los cuerpos receptores; (g) información y consulta a la población y a la autoridad jurisdiccional antes de autorizar instalaciones o ampliaciones.

Los puntos enunciados deben cumplirse inexorablemente en el futuro ya que en materia de contaminación lo importante es seguir una política preventiva adecuada. Estas consideraciones no siempre han sido tenidas en cuenta en el pasado ni por la industria ni por el Estado —muchas veces como Estado-empresario— y así muchas de nuestras fábricas se han montado sin cumplimentar reglamentaciones vigentes. Por lo demás, las disposiciones suelen ser incompletas, fragmentarias cuando no contradictorias y llegan a tener diferentes ámbitos de aplicación, lo que introduce un elemento caótico que dificulta imponer su cumplimiento a quienes se encuentran asentados, a manera de enclaves, en territorios de otra jurisdicción. Este es el caso de los terrenos aledaños a puertos que están dentro de la órbita de la Administración General de Puertos de la Nación y, por lo tanto, en principio, sustraídos a la aplicación de las leyes provinciales y ordenanzas de los municipios que los rodean. Resulta imposible pretender que estos puntos se impongan de un día para otro ya que se podría provocar un "lock out" con el consiguiente desempleo en una coyuntura crítica de receso industrial. En estas circunstancias, las medidas serían rechazadas por el propio personal cuya salud y la de sus descendientes se estaría, sin embargo, tratando de defender.

Para solucionar los problemas ocasionados por la industria existente se necesita un plan concreto, serio y factible que permita revertir gradual pero sostenidamente la situación actual. Los medios para lograr su aplicación pueden ser diversos, pero siempre será preferible recurrir al estímulo —préstamos "blandos", exenciones impositivas— que a sanciones económicas, ya que éstas, si no son significativas o no se las aplica, alejan las soluciones de fondo.

La gran industria ya ha comenzado a tomar una serie de medidas, algunas de las cuales enunciaremos a continuación: (1) reciclado tanto de agua como de vapor, de fracciones de combustible, de soluciones tanantes o galvanostégicas con la consiguiente economía de energía, agua y principios activos, o mejores rendimientos según las características de la industria; (2) división y tratamiento por separado de efluentes de distinto tipo y carga, de modo de no diluir los más recalcitrantes y reducir al mínimo la masa o volumen a tratar; (3) recuperación de componentes valiosos o materia prima por distintos procesos de concentración (floculación, extracción, intercambio iónico, fraccionamiento por espumas); (4) producción de efectos térmicos y rotura de emulsiones y extracción simultánea de compuestos orgánicos por reacción química; (5) biodegradación de contaminantes orgánicos, sea en condiciones aeróbicas o anaeróbicas, por microorganismos selectivos —bacterias, hongos— o por enzimas, y la aceleración de esos procesos por inmovilización de los agentes en soportes porosos que permiten una mayor velocidad de flujo de los líquidos a tratar; (6) uso de plantas hidrófitas depuradoras (el caso de la jarilla para fenoles); (7) aplicación de ultrasonido para provocar la coalescencia de material particulado muy fino y su posterior precipitación en ciclones electrostáticos.

He aquí, entonces, ejemplos representativos de lo que las nuevas tecnologías ofrecen, sea para resolver situaciones existentes, sea para recuperar componentes de tal interés económico que favorecen no sólo una pronta amortización de lo que se ha invertido inicialmente sino también ganancias posteriores. La industria "limpia" siempre rinde beneficios, ya que mejora las condiciones de trabajo, estimula el esfuerzo solidario, identifica a la empresa con el personal, sus familias y el vecindario, colaborando así a hacer más grata la vida. ⊙



SU HOJA DE NEGOCIOS

650 Fifth Av., 30 Th Floor, New York-USA.
Avda. Paulista 1098, Sao Paulo-Brasil.
Balboa, entre 42 y 43, Edif. Banco Exterior, Panamá-Panamá.
Libertador 5to. P, Edif. Torre Maracaibo, La Campiña, Caracas-Venezuela.
Mac Iver 225, Piso 14, Santiago-Chile.
Misiones 1379, Montevideo-Uruguay.
Vía Albricci 9, Milano-Italia.
San Martín 137, Buenos Aires-Argentina.

Cada una de estas sucursales es su oficina. Para que usted se instale y, desde allí, dirija la operación que más le convenga a su empresa. Utilice nuestra información de mercados y toda nuestra experiencia en negocios internacionales.
8 puntos estratégicos para que sus operaciones en el mundo estén en la dirección justa.

BANCO PROVINCIA
El Banco de la Provincia de Buenos Aires
Más Banco

En la actualidad asistimos a un auge de pretendidas "ciencias", como la astrología o la predicción por el recurso al tarot, que a mi entender constituyen verdaderas afrentas a la tradición científica de Occidente. Para colmo, tales prácticas son reivindicadas por epistemólogos de moda, como el anarquista Paul Feyerabend cuando afirma que no está establecido que la ciencia moderna sea superior a la magia o que el método científico es inexistente. En el editorial de vuestro nº 1 se decía que "la Argentina está emergiendo de un largo período de pensamiento mágico...". Mi deseo es que *Ciencia Hoy* contribuya a que ello siga ocurriendo y por lo tanto solicito que algún experto de reconocido prestigio me aclare este punto.

Daniel E. Salgado, Santa Fe

Conviene empezar resumiendo algunas de las ideas de Feyerabend que están en juego a propósito de la inquietud del lector. En un principio, la actividad de este filósofo era la de un epistemólogo crítico, cercano a la escuela de Karl Popper, pero luego derivó hacia la llamada "nueva epistemología", un movimiento que si bien no es unánime adoptó una actitud de cuestionamiento del hipotético-deductivismo popperiano. Allí Feyerabend realizó algunas críticas muy interesantes, pero luego adhirió a posiciones más dudosas, como por ejemplo la de que no hay comunicación posible entre los partidarios de una teoría y los de otra porque la estructura que define el significado de los términos teóricos es incomunicable. Cada teoría, afirma Feyerabend, define o conforma los conceptos a su manera, tesis que provoca ciertos inconvenientes lógicos que, a juicio de algunos de sus críticos, son insalvables. Thomas S. Kuhn, otro integrante de la "nueva epistemología", sostiene una posición semejante.

Finalmente Feyerabend arribó al "anarquismo epistemológico" que preocupa al lector. El acento de esta postura no está colocado en la defensa de la validez de la magia, la astrología o la clarividencia (aunque él no deje de afirmarlo) sino en que la ciencia no tiene un método unívoco ni garantías de ofrecer conocimiento razonablemente valedero. El piensa, con escepticismo, que la ciencia es la propuesta de modelos de realidad muy provisorios, instrumentos "oportunistas" que permiten momentáneamente resolver ciertos problemas y dominar la naturaleza. Los científicos deberían en consecuencia estar predispuestos a cambiar sus modelos cuando fuera necesario pues éstos no ofrecen ninguna garantía. En estas condiciones, prosigue Feyerabend, el sector científico debería comportarse con humildad, sin pretensiones y con pocas vindicaciones de su papel social, y esto es precisamente lo que no ocurre. Por el contrario, los investigadores habitualmente se ven a sí mismos como una casta privilegiada, dueña (al menos en parte) de la verdad y de un método seguro para obtener conocimiento y brindar a la sociedad beneficios indiscutibles por medio de la técnica, la clínica, la terapia y la acción social. Por todo ello, consideran que contribuyen al progreso de la humanidad. Feyerabend cree que no hay razón alguna para aceptar esa visión porque, en realidad, argumenta, lo que tenemos aquí es la natural ansia de un grupo por mantener un poder. Que la ciencia y la tecnología, en la mayoría de los países del mundo, implican poder, es innegable. Hoy en día el papel que desempeñan los científicos, tecnólogos y técnicos de nivel medio es mucho más relevante que el de los propios proletarios, pese a las predicciones y advertencias marxistas, por razones que tienen que ver, por ejemplo, con la organización actual de la producción o la difusión de la automatización. Pero Feyerabend señala algo más: la comunidad científica y técnica maneja diestramente los presupuestos nacionales y los de las fuerzas vivas porque se ha mostrado ante el resto de la sociedad como el *único sector que tiene conocimientos* y que es capaz de desarrollar tecnologías, por lo cual las decisiones acerca de qué y cómo investigar y de qué modo emplear los presupuestos son exclusivamente de ella, sin participación de otros sectores sociales. Finalmente, dado que dichos sectores no tienen conocimiento del camino hacia la verdad, la comunidad científica reclama para la ciencia mayores "derechos" con relación a otras disciplinas o creencias.

Para Feyerabend esta situación es intolerable. La compara con la que regía siglos atrás cuando el monopolio de las creencias estaba en manos de la religión revelada y ésta decidía el destino moral e intelectual de la sociedad. El estado actual de cosas es, por consiguiente, tan despótico y peligroso para la libertad como el de aquel entonces. En una sociedad libre deben darse las mismas oportunidades y derechos, el mismo prestigio social y la misma posibilidad experimental de desarrollar su visión del mundo a los sectores ajenos a lo que llamamos "comunidad científica oficial". Feyerabend propone, por tanto, una distribución igualitaria de los presupuestos entre todos los sectores, y entre éstos incluye a la ciencia como uno más de tantos. En este punto, sorprendentemente, sostiene que no hay razones filosóficas ni sociológicas para privilegiar a la comunidad científica frente a las de los parapsicólogos, los clarividentes, los astrólogos o los magos.

Hasta aquí Feyerabend. En lo que sigue el autor de esta nota expondrá sus propios puntos de vista, para lo cual puede ser pertinente dividir la discusión en tópicos que no están tan vinculados entre sí de la manera en que Feyerabend parece entenderlo. Las primeras dudas se presentan cuando se considera su posición relativista. Desde luego hay problemas serios vinculados con el método científico: se sabe que con él la validación absoluta no se consigue, pero es una actitud ciega afirmar que la actividad científica no ha brindado conocimiento, modificado significativamente nuestra capacidad tecnológica o terapéutica, establecido una visión sistemática del mundo y a la vez servido de instrumento contra formas dogmáticas de creencias que tanto daño han hecho a lo largo de la historia. También son un tanto dudosas las tesis semióticas de Feyerabend sobre la significación de los términos teóricos. Parecen ser una manifestación más de una "moda" muy difundida en este momento: hay distintas ideologías, distintas culturas y distintas valoraciones, y cada una de ellas tiene derecho a la existencia, sin posibilidades de comunicación entre sí. Este irracionalismo metodológico no parece muy justificado. En cambio, es razonable tener en cuenta la sugerencia de adoptar una posición filosófica y metodológica de *duda* frente a lo que se hace o afirma, aunque sus raíces estén en la ciencia, por ejemplo en alguna teoría exitosa. Se trataría de proceder a la manera dialéctica e imaginar, a modo de ejercicio, qué sucedería si uno niega lo que hace o dice, o los procedimientos que emplea, aunque esto vulnere cierta tradición basada en la lógica o la ciencia ortodoxa. Así entendida, la visión dialéctica y un tanto hegeliana de Feyerabend, tal como aparece especialmente

en *Contra el método*, podría ser aceptada. En cuanto a estos extraños sectores de los que estamos rodeados y que él aconseja tomar en un pie de igualdad con la ciencia, conviene hacer una distinción. Aunque se tomen todas las precauciones para evitar lo que de "absoluto" pueda tener el método científico, el recurso al tarot o al *I Ching* implica aceptar supersticiones numerológicas que representan, todavía hoy, el temor de algunos hombres ante una sociedad cambiante e insegura y la esperanza de que *algo*, personal o no pero esotérico, nos ayude, nos salve. No es un buen signo de la sociedad contemporánea este auge de sectas o creencias, especialmente cuando son avaladas por científicos o personas con formación científica. Por ejemplo, en ciertas interpretaciones de físicos con inclinaciones filosóficas, como Bohm o Capra, se observa una suerte de "neoesoterismo", la tentativa de encontrar analogías entre las cosmologías orientales y las teorías de la física moderna.

Hay, sin embargo, un punto muy específico en el que se puede coincidir con Feyerabend: se refiere a una suerte de *atención* que conviene prestar a determinados ámbitos que aún no han ingresado a la ciencia misma. William James decía que el progreso científico se vincula más a la periferia de la ciencia que al núcleo central de sus teorías exitosas o paradigmáticas. Algo similar afirman ciertos epistemólogos actuales, como Imre Lakatos. En esas zonas periféricas, un tanto dudosas, hay una serie de datos nuevos que no se ajustan a las teorías centrales y que son difíciles de comprender. James pensaba en la parapsicología, y el ejemplo es válido porque, tiempo después, algunos institutos creados en la Unión Soviética para refutar las creencias parapsicológicas obtuvieron resultados que se convirtieron en secreto militar. Lo mismo vale para el sonambulismo, que en cierta época se consideraba una superstición relacionada con la brujería y actualmente es un fenómeno explicado por la ciencia. Hay más ejemplos: el hipnotismo, que se emplea hoy incluso para la extracción indolora de piezas dentales, o procedimientos como la acupuntura, una práctica cuya eficacia se reconoce aunque no exista una teoría adecuada para explicarla. Todo esto muestra que lo que en un momento dado se considera una superstición puede más adelante incorporarse al campo científico. Para intuir dónde puede ampliarse o modificarse el conocimiento, sería importante por parte de los investigadores una actitud más abierta y curiosa con relación a esas zonas fronterizas. La condición, sin embargo, es que todo estudio que se emprenda respete las normas metodológicas de la ciencia.

La cuestión del método merece una reflexión más. Puede convenirse con Feyerabend en que no existe *un* método rígido, adecuado a todas las ciencias, en que hay un espectro de procedimientos muy diversos, en que gradualmente se incorporan otros nuevos, etcétera. Pero es necesario distinguir, en materia metodológica, entre lo que podría ser llamado un "centro *estratégico* inviolable" y una serie de *tácticas* muy cambiables. Cuestionar el primero es una actitud profundamente irracional o escéptica, y significa condenar a muerte a la ciencia. Para quienes todavía creen que la racionalidad es un valor que no puede ser desechado (y el autor de esta nota se cuenta entre ellos) la lógica ofrece ese centro primario que fundamenta la deducción, la inducción y los procedimientos indirectos de inferencia que permiten acceder a lo no conocido a partir de lo conocido. Allí están también, en ese centro, métodos como el estadístico, el experimental y el hipotético-deductivo, que siguen siendo estrategias generales válidas, a pesar de las críticas y modificaciones muy certeras que se les han realizado. Fuera de este centro, en cuanto a tácticas, hay mucho que puede ser cambiado. Mario Bunge, por ejemplo, ha insistido siempre en que una de las características de la cientificidad es la mensurabilidad y la cuantitatividad, pero hoy ya no puede afirmarse tal cosa. Hay ciencias que no son cuantitativas sino estructurales: en ellas se examinan y comparan estructuras, se obtienen conclusiones en virtud de la estructura y no de la cuantitatividad. Se pueden mencionar muchos ejemplos: desde la propia lógica y la lingüística hasta la tectónica de placas en geología, el psicoanálisis, ciertas orientaciones de la sociología y hasta no hace mucho tiempo atrás, como solía decir Jorge Alberto Sabato, la metalurgia. La matemática misma ha renunciado a ser la ciencia de lo cuantitativo: la topología, el álgebra abstracta y en general la teoría de los sistemas axiomáticos es estructuralista. Lo cual muestra que toda definición de ciencia en la que se privilegie para caracterizarla *una* de esas notas (como la cuantitatividad) puede ser criticada con justicia. Pero afirmar que una visión de la ciencia se modifique en virtud de ciertas críticas no significa que la ciencia no exista.

Por todo lo anterior cabe afirmar que ciertos "consejos" que suele ofrecer Feyerabend son sencillamente inadmisibles. Una cosa es recomendar que se preste atención a nuevos datos, que se deriven nuevas técnicas, que se intenten nuevas explicaciones con la garantía del método, y otra muy distinta proponer la democrática renuncia a éste para aceptar las creencias de esos círculos no científicos *tal como en ellos se las formula*. Esto último es, lisa y llanamente, hacer el juego al oscurantismo y la superstición. En momentos en que en el mundo, y en especial en la Argentina, se privilegia el autoritarismo y el retorno reaccionario a viejas doctrinas económicas o teológicas, admitir el programa de Feyerabend sería una catástrofe sociológica y política que atentaría contra la libertad y el progreso que han significado el surgimiento de la ciencia moderna o el ideario de la Revolución Francesa, hechos que representaron para la humanidad momentos históricos de liberación a los que no podemos renunciar. Nada de esto se puede comparar, si de aniversarios se trata, con el episodio del descubrimiento de América por los europeos: la imposición de supersticiones y la explotación de seres humanos. Feyerabend ha sintetizado sus tesis en una expresión: *todo vale*. Pero si todo vale, cualquier cosa da lo mismo. Y esto es inaceptable. Al margen de lo atractivo y pintoresco que puedan resultar sus argumentos, sus ideas centrales son peligrosas. Aunque se declare un "anarquista" o "liberador", en el fondo contribuye, como muchos ideólogos voluntaristas de principios de siglo, a crear las condiciones para el desarrollo de una ideología claramente definida: el fascismo.

Gregorio Klimovsky
Facultad de Filosofía y Letras
Universidad de Buenos Aires

En busca del Paraíso perdido: LA BIOGEOGRAFÍA HISTÓRICA

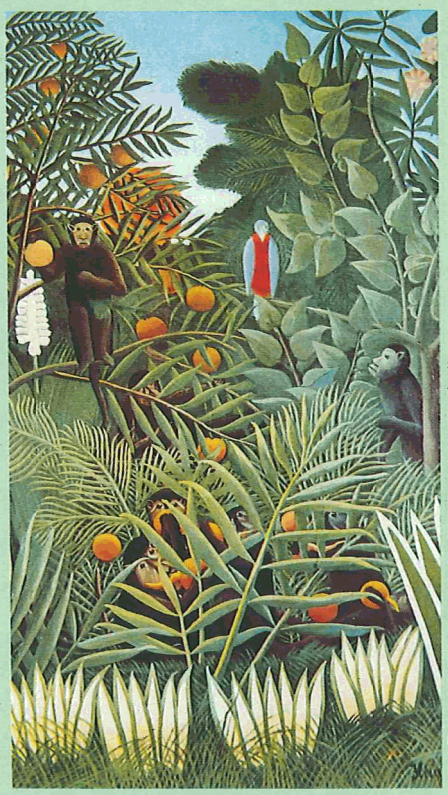
En apasionante viaje hacia el pasado, la biogeografía histórica intenta determinar las causas de la distribución geográfica de los seres vivos en la Tierra. Nuevas metodologías y los consiguientes resultados obtenidos hacen de nuestra época un momento particularmente activo, abierto a múltiples posibilidades. La biogeografía de la vicariancia —fundada en la idea de que la vida y la corteza terrestre evolucionan juntas, y en el cladismo, que permite clasificar a plantas y animales según sus relaciones de parentesco— ha sido el motor principal de esta actividad.

Jorge V. Crisci y Juan J. Morrone

Laboratorio de Sistemática y Biología Evolutiva,
Museo de La Plata

El Paraíso terrenal estaba ubicado en una isla tropical, única superficie que emergía en la inmensidad del mar primigenio. Todos los seres vivos se encontraban en esta isla: los animales y las plantas que requerían un clima frío habitaban en la cumbre de una elevada montaña, y los que necesitaban climas más cálidos lo hacían en el llano. Cuando más tarde emergieron las restantes tierras, los animales y las plantas migraron hacia ellas y ocuparon las áreas donde se encuentran hasta el día de hoy. Esta hipótesis, planteada por el naturalista sueco Carl Linneo en la segunda mitad del siglo XVIII, intentaba explicar las causas de la distribución geográfica de los organismos que habitan la Tierra. A pesar de los 200 años transcurridos desde los tiempos de Linneo, los biólogos continúan buscando el "Paraíso perdido" toda vez que se preguntan por estas causas. La biogeografía histórica es la disciplina biológica que se ocupa específicamente de analizar esta problemática.

Si un viajero observa atentamente los lugares que visita, pronto llegará a la conclusión de que diferentes áreas del globo albergan distintas especies de animales y vegetales. En América del Sur, por ejemplo, encontrará muchos taxones únicos (la palabra "taxón" se refiere a las especies o grupos de especies de cualquier categoría). Entre las plantas hallará las orquídeas del género *Oncidium*, la sección *Quelusia* del género *Fuchsia* de las Onagraceae y la familia Calyceraceae, y entre los animales, los monos aulladores del género *Alouatta* y los osos hormigueros (familia Myrmecophagidae). En otro continente, por ejemplo en Australia, también encontrará taxones únicos como las plantas conocidas como limpiabotellas (género *Callistemon*) y, entre los animales, los canguros (familia Macropodidae, koalas (familia Phalangeridae) y los emúes (orden Casuariformes). A estos taxones restringidos a un área geográfica determinada, que puede ser desde un continente hasta una isla, se los denomina *endémicos*.



Henri Rousseau, "Jungla con monos que comen naranjas".

Pero otras distribuciones pueden llamar la atención de nuestro viajero. Así, por ejemplo, los bosques del género *Nothofagus* que se encuentran en el sudeste de Australia, Nueva Guinea, Tasmania, Nueva Bretaña, Nueva Caledonia, Nueva Zelandia y la región austral de América del Sur, o los coleópteros Curculionidae de la tribu Araucariini, que se hallan en Australia, Nueva Caledonia, Nueva Zelandia, la región austral de América del Sur, el sudeste de Brasil y Sudáfrica. Las plantas del género *Larrea* se encuentran en América del Sur (áreas desérticas de Argentina, Chile y Bolivia),y en América del Norte (áreas desérticas de México y sudoeste de Estados Unidos). Por otra parte, los anfibios de la familia Pipidae se distribuyen en el nordeste de América del Sur y en el África tropical. Las distribuciones en que dos o más taxones estrechamente relacionados entre sí ocupan áreas separadas por una gran distancia se denominan *disyuntas* (véanse figuras 1 y 2). La distribución de los géneros de la tribu Araucariini no sólo nos permite ilustrar una disyunción intercontinental, sino también, en América del Sur, a través de las especies de uno de sus géneros, *Araucarius*, una disyunción intracontinental.

Nuestro hipotético viajero podrá preguntarse entonces por qué razón algunos taxones son endémicos de determinadas áreas geográficas mientras que otros, aunque emparentados entre sí, se distribuyen en áreas tan distantes, como él ha observado en el caso de la tribu Araucariini. Una posible explicación es que dichos taxones están presentes en las áreas cuyo clima y demás condiciones ambientales permiten su desarrollo, y ausentes en aquellas otras en que tales factores no les son propicios.

Esta respuesta, sin embargo, resultará insuficiente, porque nuestro inquieto viajero también habrá observado que áreas con condiciones muy semejantes entre sí no necesariamente albergan los mismos taxones. Por ejemplo, los trópicos de África y de Brasil, pese a innumerables condiciones ambientales semejantes, no poseen una sola especie de mamíferos nativos en común. Sabe, por otra parte, que algunas especies trasladadas por el hombre a áreas muy diferentes a las que ocupaban originalmente, sobrevivieron e incluso prosperaron, como es el caso del género *Eucalyptus*, nativo de Australia e introducido en América del Sur. Cabe preguntarse, entonces, por qué si *Eucalyptus* encontró un hábitat propicio en América del Sur, no crecía originalmente en esta región.

Frente a estos interrogantes, nuestro viajero imaginario comprende que las condi-

Henri Rousseau, "Negro atacado por un jaguar". Foto: Andrés Barragán

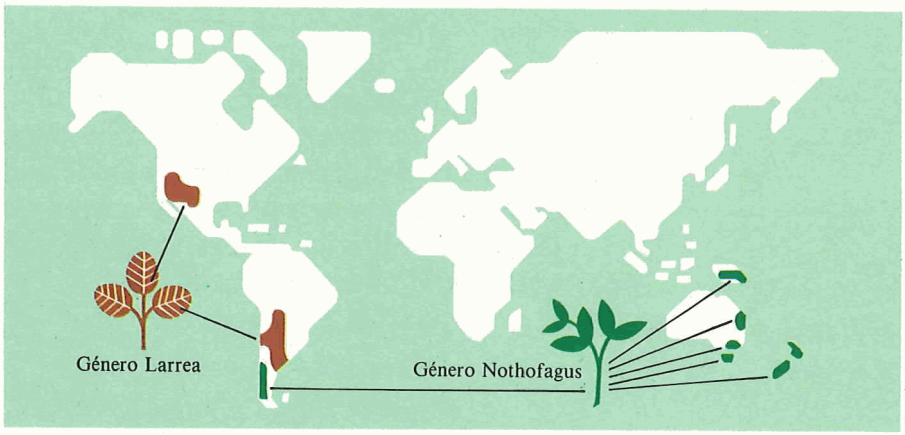
ciones actuales no bastan para explicar la distribución de los seres vivos y decide buscar en el pasado. Este rastreo del pasado con el objeto de determinar las causas de la distribución geográfica de los seres vivos se denomina "biogeografía histórica".

Ya en 1820, el botánico suizo Agustín P. De Candolle había distinguido entre la "biogeografía ecológica", que estudia la distribución de los seres vivos en función de su adaptación a condiciones actuales del ambiente, y la "biogeografía histórica", que explica dicha distribución en términos de factores históricos, es decir aquellos que ya no intervienen en la actualidad.

Un fantástico viaje que llevara a nuestro curioso observador hacia el pasado le permitiría llegar a la conclusión de que los taxones actualmente distribuidos en áreas disyuntas se encuentran allí por una de estas dos causas: o bien porque sus ancestros habitaban originalmente una de las áreas y desde allí se dispersaron hacia las demás, o bien porque sus ancestros ocupaban una única área que comprendía las actuales áreas disyuntas, las que, en definitiva, son restos de la distribución ancestral (véase la figura 3). En el primer caso, el área de distribución de una especie determinada tiene por límite alguna barrera que puede ser, por ejemplo, una cordillera, un océano o un río. En determinado momento, el obstáculo es superado por algunos ejemplares que colonizan nuevas áreas y perduran en ellas. Luego de su aislamiento con respecto a los organismos que siguieron habitando en el área anterior, estos emigrantes pueden evolucionar y dar origen a un taxón diferente. En este caso, la barrera es anterior a la disyunción. En la segunda situación, la barrera tiene la misma antigüedad que la disyunción porque el área se divide cuando ella aparece y a partir de entonces cada población puede evolucionar independientemente y originar nuevos taxones.

Los biogeógrafos no siempre coinciden cuando se trata de determinar cuál de estas dos causas ha producido una distribución en áreas disyuntas. Nos encontramos así ante dos posibles explicaciones históricas denominadas *dispersión* y *vicariancia*, según se considere al primero o al segundo de los mecanismos enunciados como causa de la nueva situación.

Los primeros biogeógrafos consideraron que la dispersión era el mecanismo por el cual los seres vivos se habrían distribuido en las diversas áreas geográficas. Como esta explicación supone la existencia de centros de origen desde los cuales se dispersaron las especies —por ejemplo, el Paraíso Terrenal de Linneo—, los



Dibujos: Francisco Revelli

Fig. 1. Ejemplos de distribuciones disyuntas de plantas.

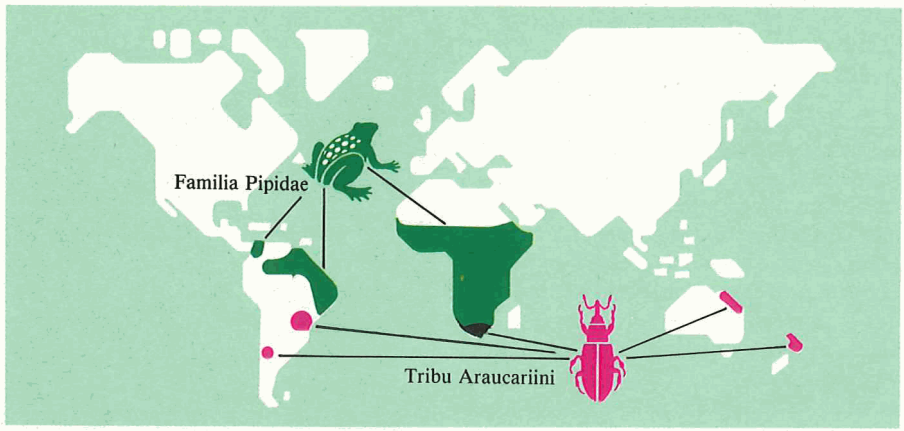


Fig. 2. Ejemplos de distribuciones disyuntas de animales.

estudiosos desarrollaron un sinnúmero de reglas destinadas a localizar dichos centros. Podemos mencionar, entre éstas, la que consideraba que el centro de origen de un taxón debía ser el área que albergara mayor número de especies, y la que sostenía que era aquel lugar donde se encontraban las especies más primitivas.

Una de las primeras explicaciones de la distribución geográfica de los seres vivos aplicando el principio de la vicariancia fue proporcionada por el británico Joseph Hooker en 1853. Este botánico había participado a la edad de 22 años de la expedición a la región antártica comandada por James Ross. Recolectó entonces numerosas plantas en Sudáfrica, Australia y el extremo austral de América del Sur. Luego de haberlas estudiado, Hooker llegó a la conclusión de que las estrechas relaciones que existían entre gran cantidad de especies pertenecientes a áreas tan alejadas entre sí no podían

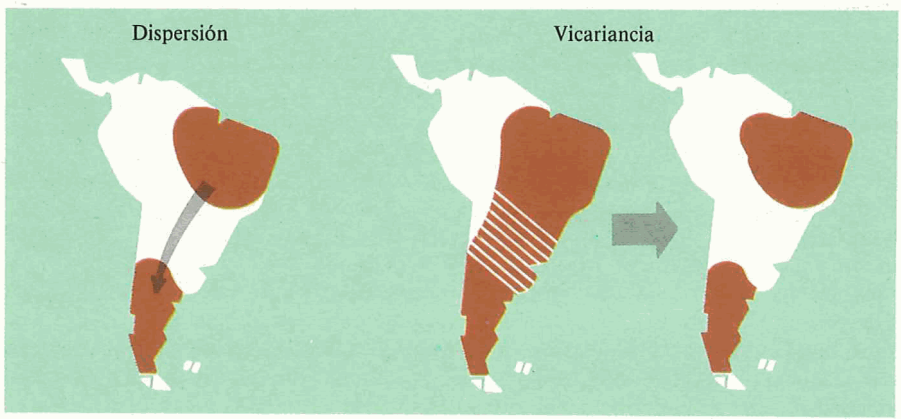


Fig. 3. Explicaciones históricas de las disyunciones por dispersión y vicariancia. En el primer caso, algunos ejemplares de un taxón migran sorteando una barrera desde su asentamiento original a otra región. En el segundo, la aparición de una barrera divide un área ancestral y su biota en dos o más fracciones. Los taxones que habitan cada región pueden evolucionar de manera independiente.

ser explicadas por una teoría dispersalista, y supuso la existencia de una flora mayor, fragmentada en el pasado por eventos geológicos y climáticos.

Es obvio que tanto la explicación por dispersión como la explicación por vicariancia reflejan fenómenos que suceden en la naturaleza y que no se excluyen entre sí; pero para aplicar una de las dos perspectivas ha de tenerse en cuenta la sustancial diferencia que existe en la proporción de taxones afectados por uno u otro fenómeno. Por ejemplo, la separación de los continentes del hemisferio sur iniciada en el período Jurásico fue sin duda un importante evento vicariante que afectó a numerosas plantas y animales, y que explica las distribuciones disyuntas del género Nothofagus y de los curculiónidos *Araucariini*, entre otros taxones. Por otra parte, la llegada al este de América del Sur, hacia fines del siglo XVIII, de la garcita bueyera (*Bubulcus ibis*) procedente de África y su posterior expansión a todo el continente americano, constituye un evento de dispersión que solamente afectó a esta especie. Así, mientras la vicariancia afecta a varios taxones animales y vegetales por igual, la dispersión, por lo general, se limita a un solo taxón. Esto no significa en modo alguno que la dispersión sea un fenómeno raro, sino que, cuando ocurre, por lo general influye sólo en la historia biogeográfica de un único taxón o unos pocos taxones con una misma manera de dispersarse.

La generalidad de la vicariancia hace que esperemos una alta probabilidad de coincidencia entre los patrones de distribución que muestran distintos taxones que integran dos o más biotas que tuvieron un origen común ("biota" es el conjunto de organismos animales y vegetales que habitan dentro de un área determinada).

En este sentido se encaminaban las observaciones hechas por Hooker en 1853 cuando comprobó la relación de las plantas provenientes de tan diversas y distantes áreas. Sin embargo, su hipótesis no fue aceptada por la comunidad científica, ya que las teorías geológicas en boga postulaban que los continentes y océanos habían tenido, durante toda su historia, la misma configuración y posición que en la actualidad. En este contexto, hallaron cabida las ideas dispersalistas del naturalista británico Alfred Russell Wallace, creador, junto con Charles Darwin, de la teoría de la selección natural. En 1876 Wallace sostenía que las áreas del hemisferio norte eran el sitio de origen de todas las formas de vida actuales y que, por consiguiente, la fauna y la flora de Australia, Sudáfrica y América del Sur habrían derivado, independientemente y en distinto tiempo, de especies de plantas y animales del hemisferio norte. Este modelo —denominado frecuentemente efecto Sherwin-Williams, en referencia al logotipo de un conocido producto en el que se muestra una lata de la que se derrama pintura desde el hemisferio norte hacia el hemisferio sur— ha prevalecido en la biogeografía histórica hasta no hace mucho tiempo, siendo Matthew, Darlington y Simpson sus exponentes más conspicuos.

El resurgimiento en los últimos treinta años de la teoría de la deriva continental (véase "Deriva continental y tectónica de placas"), trajo como consecuencia una mayor aceptación por parte de los biogeógrafos de la explicación por vicariancia, y un paulatino abandono de las hipótesis que supusieran una corteza terrestre estable y postularan centros de origen y dispersión de los seres vivos. La imagen de un "Paraíso Terrenal" podría ser entonces reemplazada por

Foto: Carlos Lange

Macá tobiano, *Podiceps gallardoi*. Especie descripta muy recientemente, es endémica de algunas lagunas del sudoeste de la provincia de Santa Cruz.

DERIVA CONTINENTAL Y TECTÓNICA DE PLACAS

El científico alemán Alfred Wegener propuso en 1915 la teoría de la deriva continental. De acuerdo con ella, hace 200 millones de años (en el período Jurásico inferior), los continentes se habrían encontrado unidos, conformando un supercontinente que Wegener denominó *Pangea*. Este supercontinente se habría luego fragmentado y las partes resultantes habrían iniciado un movimiento de deriva hasta alcanzar la disposición actual. La teoría de Wegener fue rechazada por la mayor parte de los geólogos y los biólogos durante casi medio siglo.

Hace 200 millones de años

A principios de la década del '60, la "tectónica de placas" proveyó el mecanismo que se requería para explicar el movimiento de los continentes. Según esta teoría, la corteza terrestre se compone de varias placas limitadas entre sí por dorsales oceánicas y zonas de subducción. En las dorsales oceánicas se generaría la corteza de los océanos, y en las zonas de subducción se reabsorbería. La corteza terrestre consta de siete placas mayores y un sinnúmero de placas menores, las cuales se mueven unas con respecto a las otras. Las zonas de subducción son importantes generadoras de fuerzas orogénicas: los terremotos, por lo general, se deben a movimientos de placas; tal fue el origen del que en 1906 destruyó la ciudad de San Francisco (Estados Unidos) y que se produjo a lo largo de la falla de San Andrés. Por otro lado, la cordillera del Himalaya se habría originado como consecuencia de la colisión de la placa de la India con el continente asiático.

Hace 135 millones de años

Hace 65 millones de años

En el presente

Los continentes comenzaron a moverse desde su posición en la *Pangea* hace unos 200 millones de años (véase la figura). La apertura del océano Atlántico comenzó hace unos 125-130 millones de años, cuando los continentes australes (África, América del Sur, Australia, Nueva Zelandia y la Antártida) conformaban la Gondwana. Luego América del Sur derivó lentamente hacia América del Norte, con la que se conectó por un puente, el istmo de Panamá, hace tres millones y medio de años. Este movimiento todavía continúa con una velocidad de desplazamiento de las placas de unos 5-10 cm/año.

la imagen propia de la vicariancia, el paleocontinente de la Pangea, luego fragmentado en los continentes actuales.

El botánico italiano León Croizat (1894-1982) opuso a las teorías dispersalistas de su época la idea de que "la vida y la Tierra evolucionan juntas". A partir de ella edificó una inmensa obra —que abarca más de 12.000 páginas— en la que desarrolló un enfoque metodológico denominado "panbiogeografía", que aplicó a la distribución de centenares de plantas y animales de todo el globo.

Croizat reconoció en la distribución actual de los taxones en áreas disyuntas, relictos de distribuciones ancestrales e ideó un método para reconstruir el proceso de fragmentación de la biota primigenia que, en forma excesivamente simplificada, puede resumirse de la siguiente manera:

- se marcan en un mapa las localidades donde se distribuye una especie determinada;
- se traza la línea de menor distancia que conecte los puntos entre sí, denominándose a esta línea "track" individual;
- se repite el procedimiento con varias especies animales y vegetales;
- en los sitios del mapa donde muchos "tracks" individuales se superponen, se trazan los "tracks" generalizados.

Croizat interpretó que estas líneas o "tracks" generalizados indicaban la fragmentación de la biota ancestral, fragmentación debida a eventos climáticos, geológicos, variaciones en el nivel del mar, etc. Estos "tracks" generalizados permiten reconstruir el desarrollo de la biota en el tiempo y el espacio (véase la figura 4).

El aporte de Croizat a la biogeografía fue fundamental, pero, sin embargo, durante muchos años su obra pasó casi inadvertida. Recientemente, las ideas de Croizat fueron rescatadas en su concepción original por un grupo de biogeógrafos neozelandeses (Craw, Heads y Page, entre otros). Por otra parte, la combinación de su concepto de "track" con la idea de parentesco desarrollada en la "sistemática", originó la biogeografía de la vicariancia.

La sistemática, disciplina que estudia la diversidad de los seres vivos, intenta clasificar las plantas y animales de acuerdo con criterios que han variado a lo largo de los últimos 2.000 años. En 1950, el entomólogo alemán Willi Hennig desarrolló una metodología denominada sistemática filogenética o cladismo; esta metodología permite clasificar los seres vivos en una jerarquía de grupos naturales sobre la base de sus relaciones de parentesco.

El cladismo —del griego *klados*, rama— parte de la premisa de que la similitud global entre los organismos no necesariamente indica relaciones de parentesco, ya que pueden parecerse por compartir caracteres

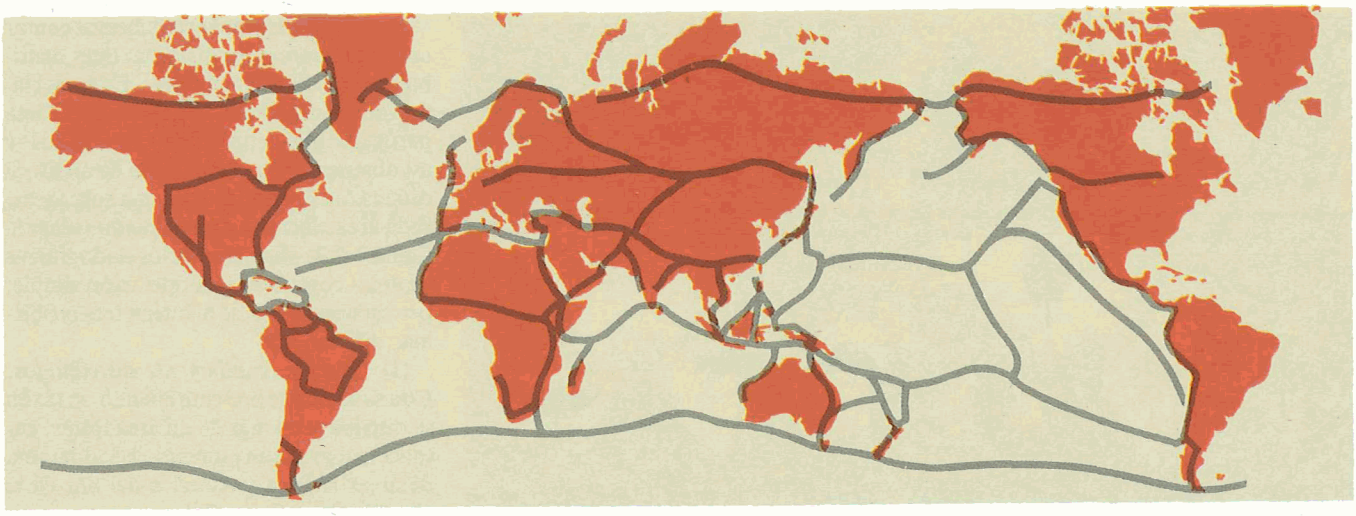


Fig. 4. El proceso de fragmentación de biotas ancestrales se pone de manifiesto en los "tracks" generalizados, señalados por Croizat al aplicar su enfoque metodológico denominado panbiogeografía.

primitivos o evolucionados, y sólo a partir de estos últimos han de determinarse dichas relaciones. Hennig denominó a los caracteres primitivos "plesiomorfos" y a los evolucionados "apomorfos"; cuando los caracteres plesiomorfos eran compartidos por dos o más organismos, los denominó "simplesiomorfías", y si los compartidos eran los apomorfos, los llamó "sinapomorfías". Sólo las sinapomorfías indican relaciones de parentesco entre los taxones, ya que son heredadas de los ancestros más recientes de dichos taxones. Sobre la base de las sinapomorfías se pueden reconocer los grupos "monofiléticos", es decir aquellos que incluyen todos los descendientes de un ancestro común. Por ejemplo, la clorofila de las plantas, el pelo de los mamíferos o los élitros de los coleópteros son las sinapomorfías que hacen que las plantas, mamíferos y coleópteros sean, cada uno de ellos, un grupo monofilético. Según Hennig, los grupos monofiléticos son los únicos que tienen realidad histórica, por lo que sólo ellos están en condiciones de ser válidamente incluidos en una clasificación.

Los resultados del análisis cladístico se resumen en un diagrama ramificado o cladograma, en el que los caracteres determinan grupos monofiléticos de distinta jerarquía. La figura 5 ilustra el cladograma de algunos vertebrados. La presencia de pelos y glándulas mamarias son las sinapomorfías del grupo que contiene al hombre y al caballo, es decir de los mamíferos. A su vez, estos dos y el lagarto forman parte de un grupo monofilético más amplio o incluyente, el de los amniotas, caracterizado por la presencia de anexos embrionarios como el amnios y el alantoides; luego, junto con la rana, constituyen el grupo de los tetrápodos, caracterizado por la presencia de patas. Por último, el desarrollo de las mandíbulas es la sinapomorfía de los gnatostomados, que también incluye a los peces.

La idea de "track" de Croizat y el enfoque cladístico de Hennig se fusionaron para originar la biogeografía de la vicariancia. Sus bases fueron sentadas en la década pasada, en una serie de contribuciones de los ictiólogos norteamericanos Donn Rosen y Gareth Nelson, y del aracnólogo de la misma nacionalidad Norman Platnick. En 1981 fueron sistematizadas en la obra conjunta de Nelson y Platnick, y más tarde aplicados por Colin Patterson, Chris Humphries, Lynne Parenti, Edward Wiley y Joel Cracraft, entre otros.

La biogeografía de la vicariancia supone una estrecha analogía entre la sistemática y la biogeografía. Así como la relación entre los caracteres permite expresar relaciones entre taxones, la información sobre las relaciones entre los taxones permite inferir relaciones entre las áreas que ellos habitan (véase la figura 6).

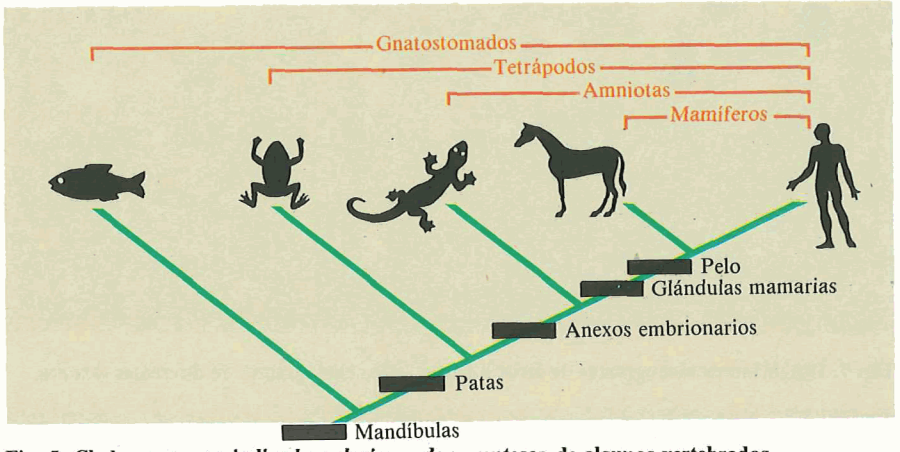


Fig. 5. Cladograma que indica las relaciones de parentesco de algunos vertebrados.

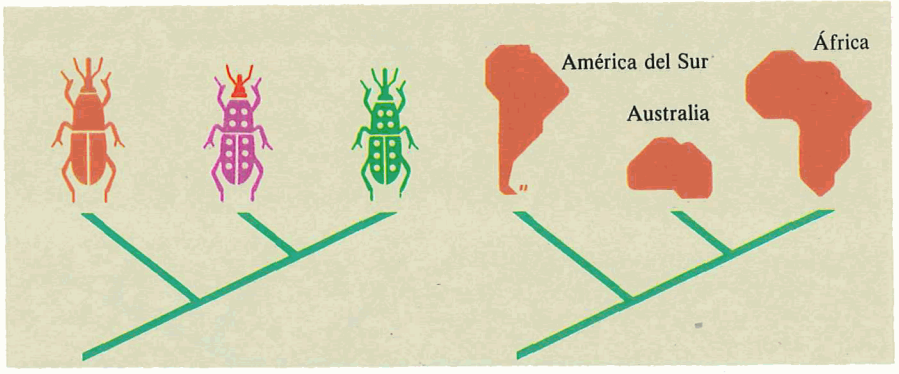


Fig. 6. Analogía entre sistemática y biogeografía. La evolución de los taxones se corresponde con la evolución de las áreas que ellos habitan.

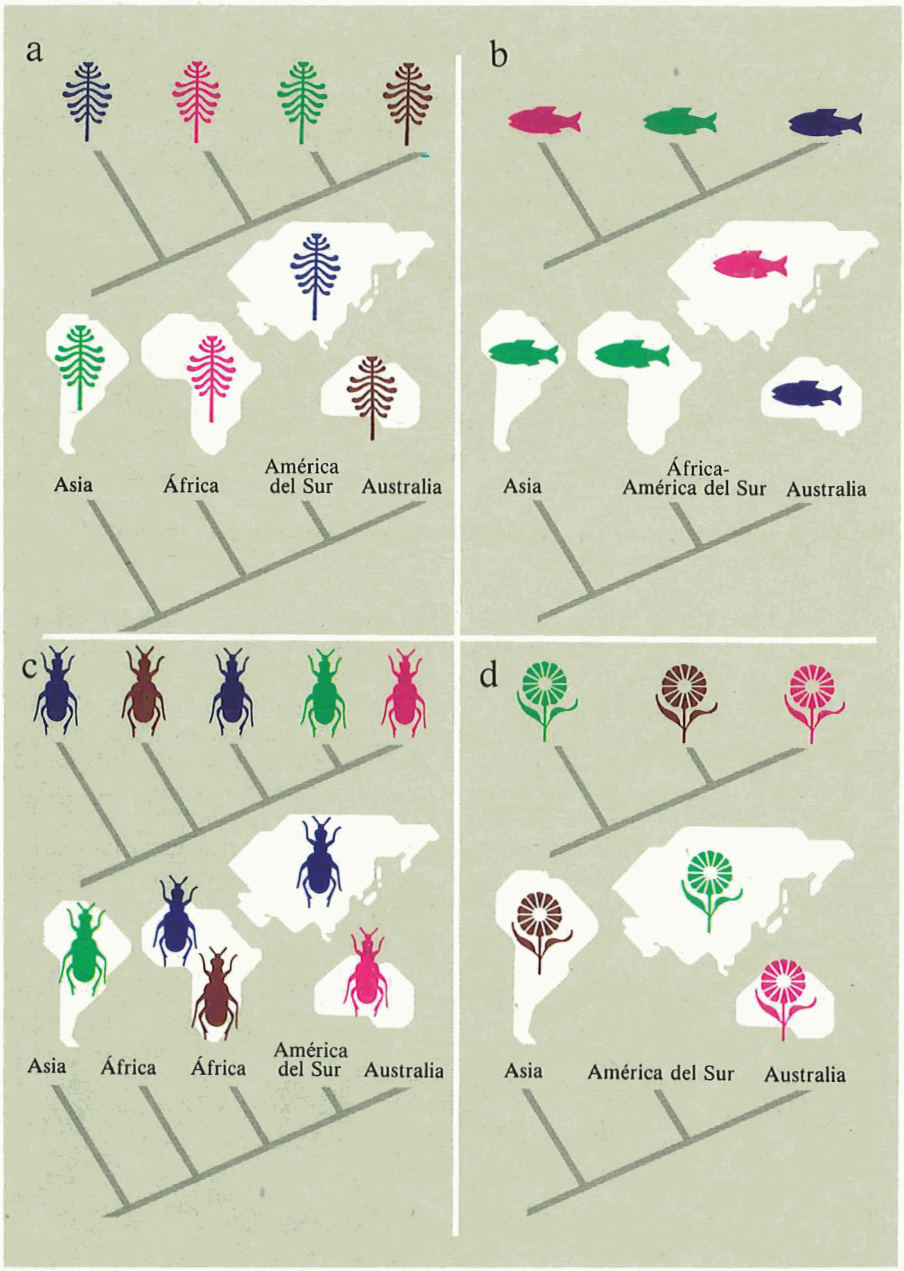


Fig. 7. Obtención de cladogramas de áreas a partir de los cladogramas de diferentes taxones.

Para iniciar este análisis debemos contar con cladogramas de varios taxones distribuidos en las áreas a estudiar. En estos cladogramas sustituimos los taxones por el área particular que ocupa cada uno de ellos y así obtenemos un cladograma de áreas. Si cada taxón es endémico de una sola área y cada área alberga un único taxón (véase la figura 7a), la obtención de los cladogramas de áreas constituye una operación simple, pero generalmente se plantean tres problemas diferentes:

(1) *Taxones ampliamente distribuidos*. Esta situación se presenta cuando un taxón se distribuye en más de un área; éstas, entonces, aparecerán juntas en el cladograma de áreas (África y América del Sur en el ejemplo de la figura 7b).

(2) *Distribuciones redundantes*. En este caso, en una de las áreas se encuentra distribuido más de un taxón; debido a ello, en el cladograma de áreas alguna de éstas aparecerá repetida (África en la figura 7c).

(3) *Áreas faltantes*. Si una de las áreas no está habitada por ninguno de los taxones del cladograma, en el cladograma de áreas ella faltará (África en la figura 7d).

Estos problemas dificultan la posterior comparación entre los cladogramas de áreas provenientes de distintos taxones, por lo que han surgido varias técnicas para tratarlos. Entre ellas, cabe mencionar el análisis de los componentes de Nelson y Platnick, la simplicidad cuantitativa de Wiley y Kluge, y la compatibilidad de componentes de Zandee y Roos, pero escapa al sentido introductorio de este artículo la exposición detallada de tales técnicas.

Una vez reunidos los cladogramas de áreas de varios taxones, se construye un cladograma general de áreas que resulte compatible con la información que proporcionan todos ellos (véase figura 8). Posteriormente, podremos intentar explicar las incongruencias entre los distintos cladogramas de áreas:

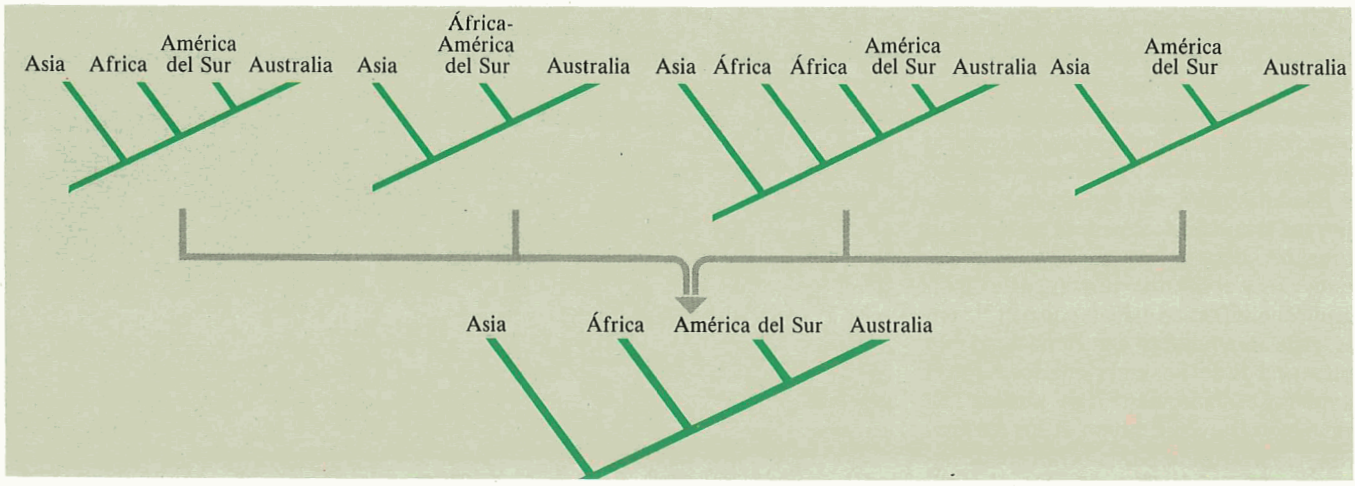
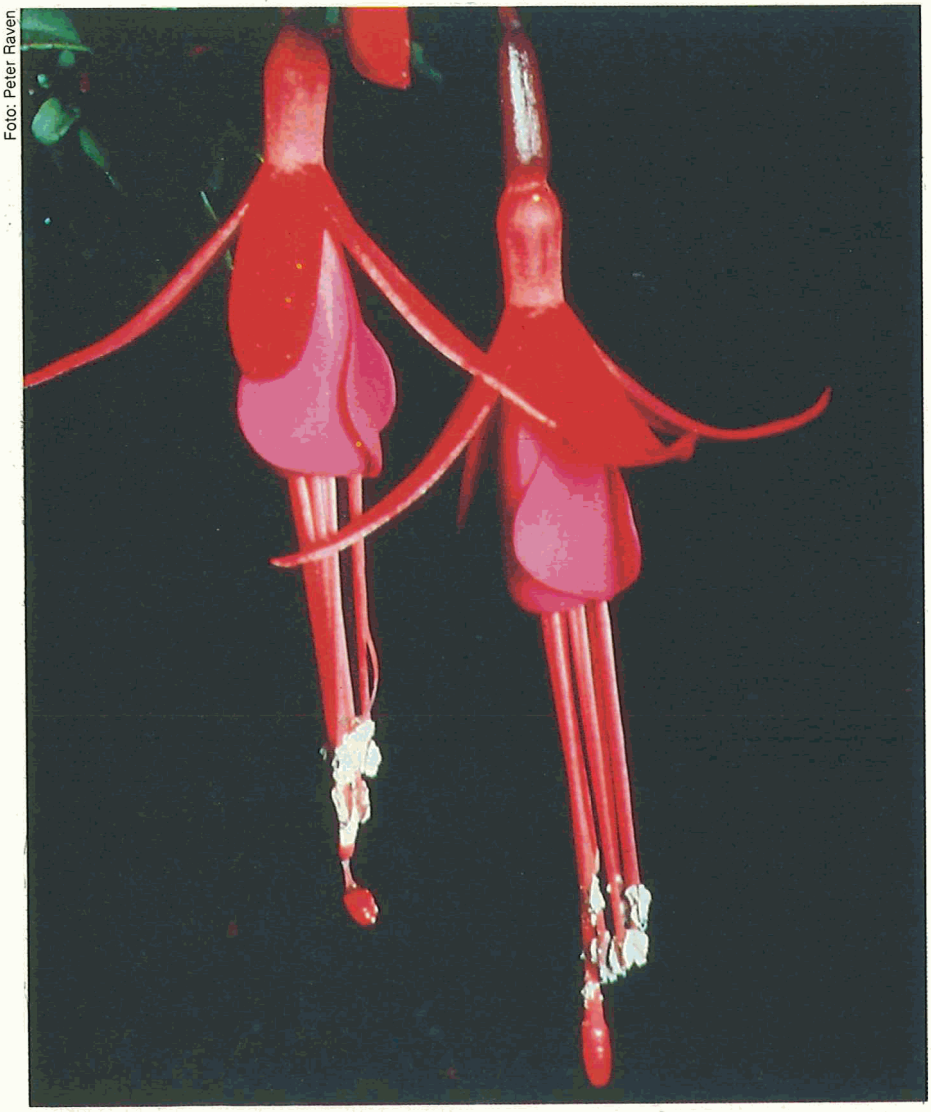


Fig. 8. Obtención de un cladograma general de áreas a partir de los cuatro cladogramas de áreas mostrados en la figura 7.

Foto: Peter Raven



***Fuchsia magellanica*. Pertenece a la sección *Quelusia* del género *Fuchsia*, sección endémica de América del Sur austral.**

Foto: Carlos Lange

Los monos aulladores (género *Alouatta*) son propios de América del Sur subtropical.

Foto de los autores

El género de orquídeas *Oncidium* es exclusivo en trópicos y subtrópicos de América del Sur.

• la presencia de una misma especie en dos áreas (figura 7b) puede ser explicada porque ésta no respondió al evento vicariante que afectó a las demás especies, o porque con posterioridad a dicho evento algunos de sus integrantes se dispersaron desde un área hacia la otra;

• la coexistencia de dos especies en una misma área (figura 7c) se explicaría por la dispersión de una de ellas hacia el área de la otra luego del evento vicariante que determinó su separación;

• la ausencia de especies en un área (figura 7d) podría deberse a su extinción, o a que el área en cuestión no ha sido lo suficientemente explorada.

Vemos así cómo la combinación de distintos cladogramas parciales en un solo cladograma general de áreas nos permite formular una hipótesis que explique la historia biogeográfica del conjunto de taxones y, por consiguiente, de las áreas donde se distribuyen.

La biogeografía de América del Sur parece ser un terreno propicio para aplicar la metodología propuesta por la biogeografía de la vicariancia. Desde los tiempos de Hooker llamó la atención de los biogeógrafos la relación de América del Sur con los otros continentes australes, puesta en evidencia por llamativas disyunciones tales como las del género *Nothofagus* y los Curculionidae de la tribu Araucariini. Varios biogeógrafos argentinos, entre los que se podría mencionar a Cabrera, Rapoport, Ringuelet y Willink, han contribuido en gran manera al estudio de éstas y otras disyunciones similares y han establecido áreas biogeográficas en nuestro continente. Sin embargo, hasta muy recientemente no existía un análisis vicariante de América del Sur.

En 1981 el paleontólogo británico Colin Patterson se interesó en el problema planteado por la distribución geográfica de los mamíferos marsupiales, que se encuentran en América, Australia y Nueva Guinea, y también en Europa, pero sólo sus restos fósiles. Patterson consideró dos cladogramas distintos, uno con los marsupiales actuales y otro que incluía los actuales y los fósiles; utilizó además los cladogramas de otros dieciséis taxones, entre los que se contaban plantas, insectos y vertebrados. A partir de éstos, obtuvo diez cladogramas de áreas distintos (véase la figura 9). El conjunto de cladogramas considerado por Patterson mostraba que América del Sur se relacionaba con las demás áreas continentales de dos maneras distintas y excluyentes; por un lado con las áreas del hemisferio norte y por otra parte con Australia y Nueva Guinea. La primera indicaría relaciones biogeográficas modernas con América del Norte y la segunda la relación más antigua que existe entre los continentes que integraron el paleocontinente de la Gondwana.

Sobre la base de los resultados de Patterson, L. Parenti concluyó que América del Sur era en realidad un área compuesta por

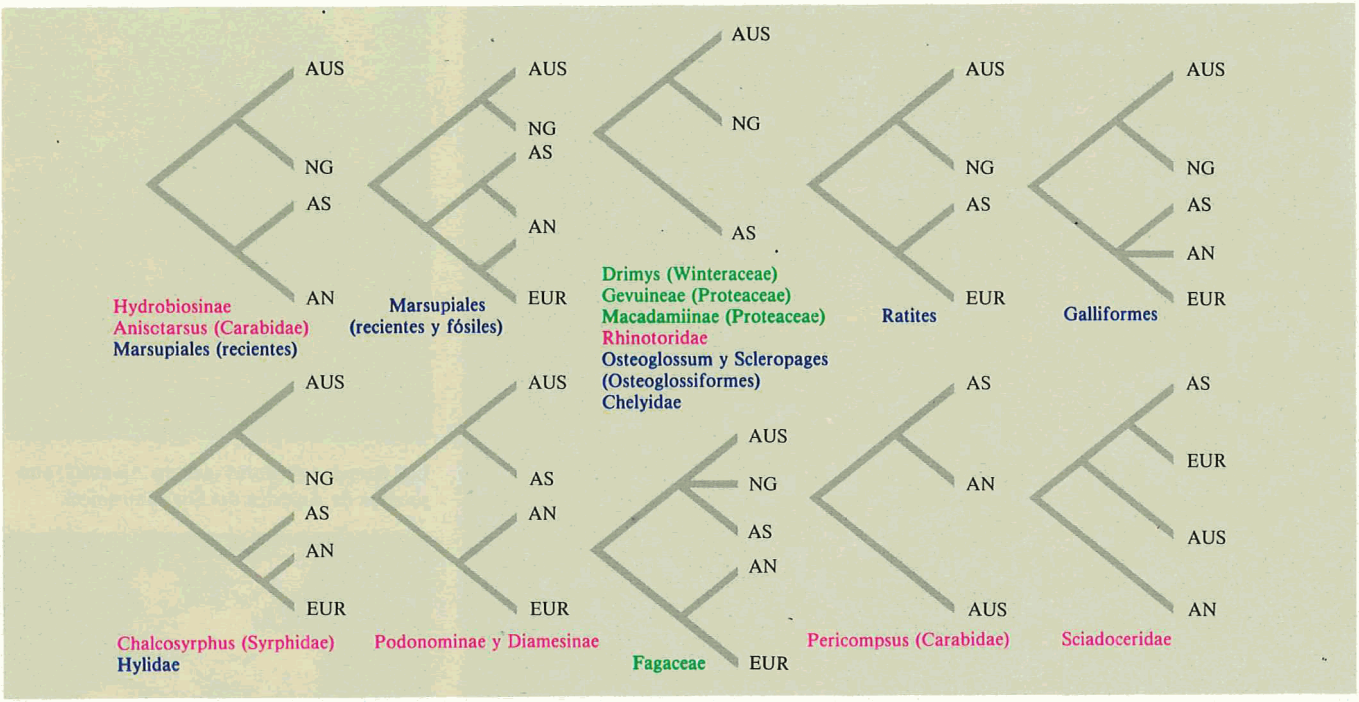


Fig. 9. Cladogramas de áreas obtenidos por Patterson (1981), sobre la base de los cladogramas de los marsupiales actuales y fósiles, y otros dieciséis taxones, que incluyen plantas (verde), insectos (rojo) y vertebrados (violeta). Las áreas estudiadas son América del Norte (AN), América del Sur (AS), Australia (AUS), Europa (EUR) y Nueva Guinea (NG).

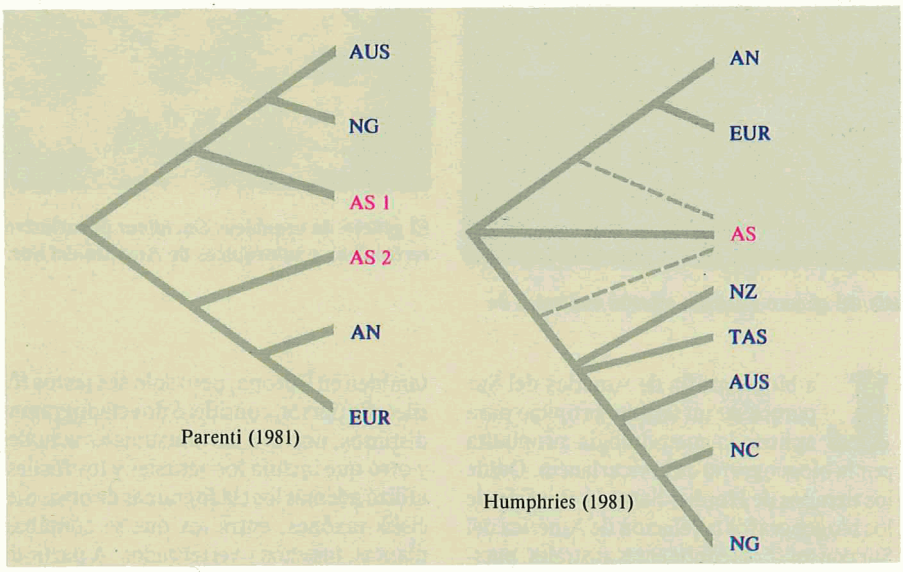


Fig. 10. Cladogramas generales de áreas obtenidos por Parenti (1981) y Humphries (1981). Ambos avalan la conclusión de Patterson según la cual América del Sur se relaciona con las demás áreas continentales de dos maneras distintas y excluyentes. El cladograma de Humphries incluye también a Nueva Caledonia (NC), Nueva Zelandia (NZ) y Tasmania (TAS).

fragmentos continentales de distinto origen. En otro trabajo referido al género *Nothofagus*, Ch. Humphries llegó a conclusiones coincidentes (véase la figura 10). La idea de tratar a América del Sur como un continente de origen doble podría parecer descabellada. Sin embargo, la teoría geológica del paleocontinente *Pacífica*, propuesta recientemente por A. Nur y Z. Ben-Avraham parece apoyar esta idea. Nur y Ben-Avraham postulan la existencia de un paleocontinente denominado *Pacífica*, cuyos fragmentos derivaron y colisionaron con los continentes que poseen costas en el océano Pacífico. Estos fragmentos podrían haber sustentado en su superficie plantas y animales que luego de la colisión se habrían incorporado a dichos continentes. De acuerdo con esta teoría, América del Sur podría tener un origen geológico y biológico a partir de fuentes diversas.

La historia de las áreas del globo es compleja y queda todavía un gran camino por recorrer hasta lograr su cabal esclarecimiento. Sin embargo, los resultados aportados por la biogeografía de la vicariancia son promisorios. Apenas veinte años nos separan del origen formal de este enfoque y su futuro depende, en gran medida, del interés que despierte en los biólogos o geólogos que hoy día lo ponen a prueba.

El escritor inglés Thomas De Quincey ha dicho que "Hasta los sonidos irracionales del globo deben ser otras tantas álgebras y lenguajes que de algún modo tienen sus claves correspondientes, su severa gramática y su sintaxis, y así las mínimas cosas del universo pueden ser espejos secretos de las mayores". La biogeografía de la vicariancia parece confirmar esta idea. ⊙

LECTURAS SUGERIDAS

CROIZAT, L., 1984, *Space, time, form: the biological synthesis*, L. Croizat, Caracas.

HENNIG, W., 1968, *Elementos de una sistemática filogenética*, Eudeba, Buenos Aires.

HUMPHRIES, C. J. y PARENTI, L. R., 1986, *Cladistic Biogeography,* Oxford monographs on Biogeography 2, Oxford University Press, Oxford.

NELSON, G. y PLATNICK N., 1981, *Sistematics and Biogeography. Cladistics and vicariance*, Columbia University Press, New York.

NELSON, G. y ROSEN, D. E. (eds.), 1981, *Vicariance Biogeography: A critique*, Columbia University Press, New York.

Los relojes biológicos
Superconductividad
El rastro de los groebéridos
Aborto
Anfibios del delta
Debate: Neurociencias y psicología
Perfil: Rodolfo Casamiquela
Aquí ciencia (Las BDZ del cerebro, Plomo en la atmósfera, La litiasis en busca de su etiología)
Ciencia en el mundo (Moléculas con memoria, Transferencia de un gen a la planta de maíz, ¿Han muerto las súper cuerdas?)
Ciencia y sociedad (Genética y desarrollo, 50 años de la fisión nuclear, No a las armas nucleares, Emigración de argentinos, La huella digital del ADN)

Las secciones indiscretas
¿Quién mató al megaterio?
Informe sobre Chagas
Energía: el azar y la necesidad
Aquí ciencia (''Genes saltarines'' y resistencia a los antibióticos, Orígenes de la nacionalidad argentina, La formación de los glóbulos rojos)
Opinión (La infancia en las ciudades)
Perfil: Guido Beck
Ciencia en el mundo (Medicina homeopática, Músculos para robots, ¿Es caótico el movimiento de Plutón?)
Ciencia y sociedad (Mortalidad infantil, Pampa semiárida: nuevos cultivos)

Fusión fría
La arquitectura de las neuronas
¿Y esto por qué se rompió?
Inflación e hiperinflación
Entrevista: Pierre Thuillier
Opinión: Drogadicción
Ciencia en el mundo (¿Es metafísica la inflación cosmológica?)
Ciencia y sociedad (Braun Menéndez nos falta por todas partes, Fecundidad adolescente, Memoria y censura, Las semillas artificiales, No a la destrucción del medio ambiente, Diálogo entre científicos argentinos)
Memoria de la ciencia (Lavoisier: la madurez de la química)

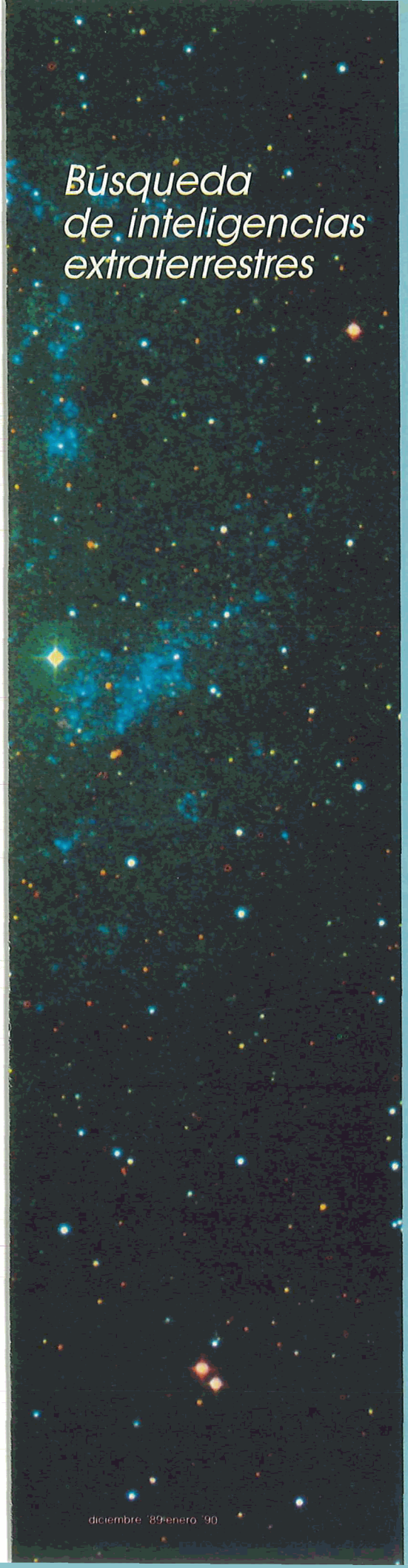
Indígenas en el mercado colonial
Mareas rojas
La cuestión ecológica
Paisaje con vicuña
Gravitación y experiencia
Aquí ciencia (Por qué no somos eternos, El dinosaurio antártico)
Perfil: Juan J. Giambiagi
Memoria de la ciencia (El legado de Ameghino)
Ciencia en el mundo (La década del endotelio, El púlsar en la supernova)
Opinión (Crotoxina)
Ciencia y sociedad (Las comunidades incrustantes, Nuevas etapas del diálogo, Ética y situación contemporánea, Freud y la cultura argentina)

porque la ciencia es cosa de todos

CIENCIAHOY

Adquiera sus ejemplares en
Corrientes 2835 - Cuerpo A, 5° A (1193) Capital

¿UNA AGUJA EN EL PAJAR CÓSMICO?



Búsqueda de inteligencias extraterrestres

Si en la inmensidad del universo existieran civilizaciones tanto o más avanzadas que la nuestra, seguramente estarían intentando comunicarse con sus vecinos galácticos. ¿Por qué no hemos recibido, entonces, visitas? ¿Por qué no vemos naves extraterrestres surcando nuestro cielo? Costosos y lentos, los viajes interestelares no parecen ser el medio ideal de comunicación: de acuerdo con nuestro actual desarrollo tecnológico, un cohete tardaría 40.000 años en llegar desde la Tierra a Alpha Centauro, la estrella más cercana al sistema solar. Las ondas electromagnéticas son consideradas, hoy, el medio más rápido y económico para tratar de establecer contacto con posibles civilizaciones extraterrestres. El lenguaje común que nos permitiría llegar a comprendernos sería, sin duda, la ciencia, ya que las leyes de la naturaleza son las mismas en todo el universo.

Fernando R. Colomb
Instituto Argentino de Radioastronomía

Guillermo A. Lemarchand

Si la vida fuera un hecho común en el universo, aquellas especies que hubieran desarrollado una capacidad de comunicación a escala interestelar intentarían, seguramente, establecer contacto con sus vecinos galácticos, tal como nosotros lo estamos intentando hoy.

Importantes pensadores de todos los tiempos han hecho volar su imaginación en torno a la posible existencia de otras civilizaciones en el universo. Así lo hicieron, por ejemplo, el filósofo Epicuro (341-270 a. C.), el poeta Lucrecio (99-55 a C.) y el historiador Plutarco (46-120) en la antigüedad; el teólogo Alberto Magno (1193-1280) en plena Edad Media, y ya en sus postrimerías, el Cardenal Nicolás de Cusa (1401-1464); durante el Renacimiento, en Italia, el filósofo Giordano Bruno (1549-1600) y casi cien años más tarde, en Holanda, el astrónomo Christiaan Huyguens (1629-1695).

Pero la primera propuesta concreta para establecer contacto con una civilización extraterrestre fue realizada por el célebre matemático Karl F. Gauss (1777-1855) quien pensó que se podría mostrar a posibles vecinos cósmicos que nos estuvieran observando nuestro conocimiento del teorema de Pitágoras y por lo tanto la existencia de una civilización. Con este propósito, sugirió que se plantaran abetos delineando un inmenso triángulo rectángulo y cuadrados construidos sobre sus lados. De manera similar, el astrónomo vienés Johann von Littrow (1781-1840) propuso cavar en el Sahara canales que conformaran un triángulo de 30 km de lado. Estos canales debían llenarse con agua y petróleo y encenderse para que se los pudiera divisar durante la noche desde otros planetas por medio de hipotéticos telescopios gigantes.

El desarrollo alcanzado en la actualidad por la ciencia y la técnica ha permitido que se replantearan las estrategias de búsqueda de otras civilizaciones y se ha puesto así en evidencia la necesidad de realizar estudios interdisciplinarios. Astronomía, física, biología, antropología y muchas otras ciencias colaboran en la apasionante y aún enigmática tarea.

El radioastrónomo norteamericano Frank Drake propuso la siguiente ecuación para expresar el número de civilizaciones técnicas previsibles en nuestra galaxia,

$$N = N_e F_p N_{fa} F_v F_i F_c F_d$$

donde N_e expresa el número de *e*strellas en la galaxia, F_p la fracción de esas estrellas que tienen sistemas *p*lanetarios, N_{fa} el número promedio de planetas con las condiciones *f*ísicas y *a*mbientales necesarias para el surgimiento de la vida, F_v la fracción de aquellos planetas que reúnen las condiciones físicas necesarias y en los cuales la *v*ida surgió. F_i la fracción de planetas en los que la vida surgió y desarrolló *i*nteligencia, F_c la fracción de planetas donde habiendo surgido inteligencia se desarrolló una capacidad *c*omunicativa y F_d un factor vinculado a la *d*uración media de una civilización técnica. El número de estrellas es el único de estos factores bien conocido y por lo tanto N puede llegar a estimarse en valores comprendidos entre una (la nuestra) y un millón de civilizaciones según las hipótesis particulares de cada estudioso que aplique la ecuación de Drake.

Las escalas del tiempo cósmico y el he-

Foto: Focus

cho de que en nuestra galaxia existan más de cien mil millones de estrellas permiten suponer que en la inmensidad del universo puede haber civilizaciones más avanzadas que la nuestra. La pregunta que surge de inmediato es, entonces, si no deberíamos haber recibido visitas o cuando menos si no tendríamos que observar algunas veces naves extraterrestres surcando el cielo de la Tierra. Por supuesto, a diario, a través de los medios de comunicación, nos invaden testimonios de que ello ocurre. Pero lo que importa no es lo que parece posible, lo que nos gustaría creer o lo que un par de testigos pretenden, sino sólo lo que se puede demostrar con hechos examinados con rigor y escepticismo. Las pretensiones extraordinarias necesitan estar apoyadas en evidencias extraordinarias y lamentablemente, hasta el momento, no disponemos de estas evidencias. La búsqueda de inteligencias extraterrestres sin embargo, continúa...

Debemos puntualizar aquí cuán costosos resultan los viajes espaciales interestelares en lo concerniente al consumo de energía e incluso cuánto lo serían aunque se dispusiera de una tecnología más avanzada que la actual. Hoy en día los cohetes son capaces de desarrollar velocidades del orden de una diezmilésima de la velocidad de la luz, o sea 30 km/seg, lo que nos da un tiempo de 40.000 años para llegar a la estrella más cercana, Alpha Centauro, a cuatro años luz de distancia del Sol. Sería entonces necesario desarrollar nuevos sistemas de propulsión que permitieran incrementar la velocidad por lo menos mil veces.

Pero dejemos de lado, por el momento, las limitaciones de la tecnología actual y consideremos el rendimiento ideal de un cohete fotónico que esté de acuerdo, por supuesto, con las leyes físicas conocidas. El mismo funcionaría aniquilando materia y antimateria, es decir convirtiendo masa en energía lumínica retropropulsiva. Cálculos realizados indican que un viaje a Alpha Centauro en un vehículo que pesara unas diez toneladas y que tardara en el viaje de ida y vuelta unos diez años, necesitaría aniquilar una masa de unas 30.000 toneladas, lo que corresponde a una liberación de 3. 10^{24} Joules, energía equivalente a toda la energía eléctrica que produciría la República Argentina al máximo de su capacidad durante 8.000.000 de años.

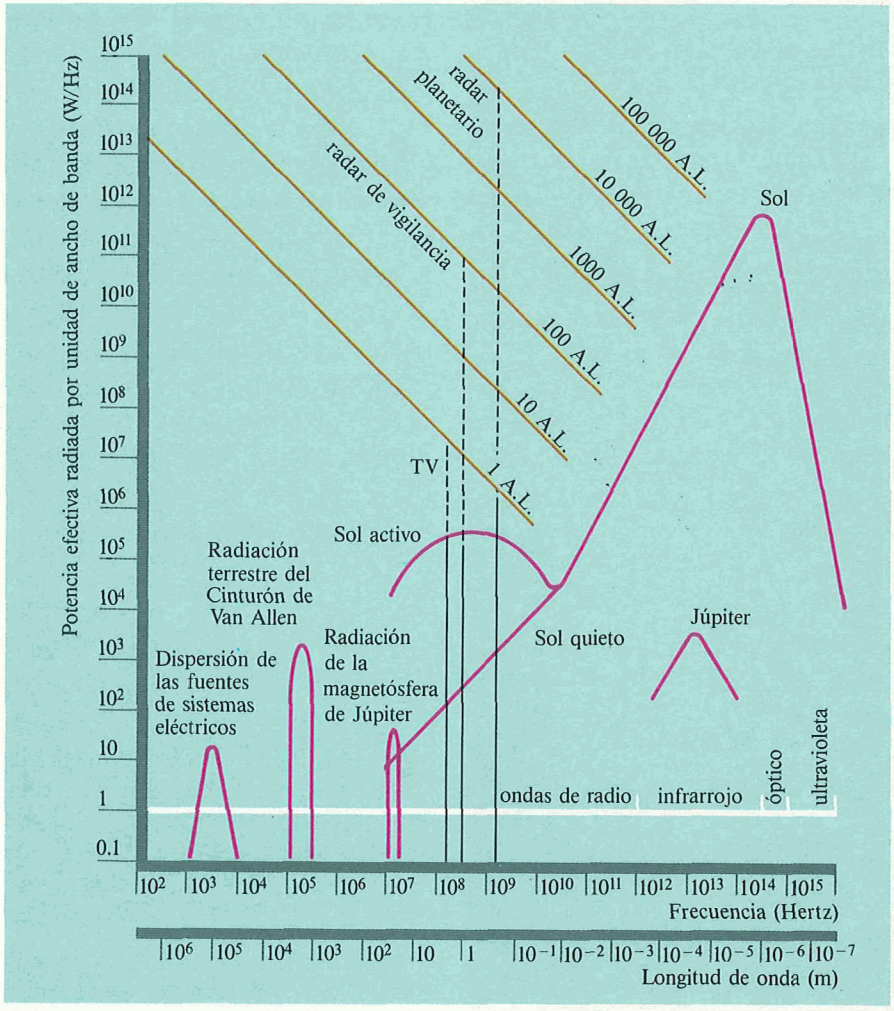


Fig. 1. Diagrama indicativo de las potencias efectivas radiadas por diversas fuentes del sistema solar expresadas en vatios (W) por unidad de ancho de banda (intervalo de frecuencias de un Hertz (Hz)) en función de las frecuencias dadas en Hz (ciclos por segundo). Se señalan las distintas regiones del espectro electromagnético y las longitudes de onda en metros (m) correspondientes a cada frecuencia. Las líneas oblicuas indican distancias en años-luz (AL). De izquierda a derecha el primer pico (armónicas de 50-60 Hz en la zona de los kHz) es generado por la red de distribución de energía eléctrica. El segundo pico (200 kHz) es generado por partículas de alta energía atrapadas en el Cinturón de Van Allen alrededor de la Tierra. El tercer pico (20 MHz) corresponde a la magnetósfera de Júpiter. Los tres picos siguientes se deben a señales de televisión (200 MHz), radares militares (400 MHz) y radares planetarios como el de Arecibo (2 GHz). Diagrama adaptado de J. Kraus, *Cosmic Search*, vol. II, N° 1, 1980.

Para establecer contacto con otras civilizaciones debemos utilizar un medio que midiendo los costos en términos de cantidades de energía resulte económico, que nos permita transmitir o recibir gran cantidad de información, que sea veloz para que posibilite un diálogo interestelar y que sea, además, a tal punto evidente, que cualquier civilización tecnológica, sin perjuicio de su línea de desarrollo, pueda descubrirlo rápidamente. Ese medio existe y son las ondas electromagnéticas. Ellas son las que nos permiten iluminar nuestro hogar (luz visible), observar a través del televisor un partido de tenis que se desarrolla al otro lado del planeta (radio-ondas) u obtener una radiografía (rayos X). En estos tres casos, el fenómeno físico es el mismo, la diferencia consiste en la región del espectro electromagnético a la que pertenecen, es decir la frecuencia o longitud de onda en la cual se manifiestan.

Retomemos aquí, por un instante, el ejemplo del viaje de ida y vuelta a Alpha Centauro de nuestro cohete fotónico ideal porque vale la pena subrayar que los costos energéticos de su hipotética travesía serían equivalentes a los de una transmisión continua durante 30.000.000.000 de años de mensajes electromagnéticos realizados mediante una antena como la del mayor radiotelescopio del mundo, el del observatorio de Arecibo en Puerto Rico. Por otra parte, aunque nadie puede dudar de la excitación que produciría una visita a otro mundo habitado, el mayor beneficio aportado por dicha visita provendría de las comunicaciones que se establecieran. Philip Morrison estimó que todos nuestros conocimientos acerca de la civilización griega antigua pueden almacenarse con 10^{10} bits de información por lo que sugirió que se denominara a esta cantidad un HELLAS (recordemos que un bit es una señal que

se manifiesta en dos estados: Sí o No, Encendido o Apagado, 0 ó 1, Punto o Raya, etc.; con cadenas de bits y cierta clave se obtiene un "alfabeto" capaz de comunicar nuestros mensajes). El problema se reduce, entonces, a enviar alrededor de 100 HELLAS de información en vez de toneladas de metal en forma de naves estelares...

En nuestro intento de comunicación interestelar, ha de inquietarnos, ante todo, el hecho de que los seres extraterrestres podrían tener una biología, una cultura y un lenguaje diferentes de los nuestros. ¿Cómo sería posible, entonces, establecer contacto con ellos? ¿Existirá —como se pregunta Carl Sagan— algún tipo de Piedra de Rosetta cósmica que permita el mutuo entendimiento? La respuesta a este interrogante se encuentra, tal vez, en un posible lenguaje común llamado "ciencia". Las leyes de la naturaleza son las mismas en todas partes; los elementos químicos tienen una firma específica característica dentro del espectro electromagnético. Así es que hay configuraciones espectrales idénticas en la llama de una vela en la Tierra y en la luz de un cuásar a quince mil millones de años luz de nuestro planeta. Los espectros demuestran, también, que las mismas leyes físicas gobiernan los átomos en todas partes. En cualquier mundo, las criaturas deberán afrontar las mismas leyes de la naturaleza y tarde o temprano los seres inteligentes las comprenderán. Esta podría ser, entonces, la "Piedra de Rosetta", el lenguaje común, la clave de la intercomunicación estelar que comenzamos a intentar utilizando como medio las ondas electromagnéticas.

Nuestro sistema solar alberga fuentes de radiación electromagnética naturales y artificiales —el Sol, Júpiter, las emisoras de TV, los radares, etc.— que emiten en diferentes frecuencias y con distintas potencias. La figura 1 presenta el espectro de emisión de las principales fuentes, que son, por otra parte, las que aquí nos interesa considerar. En el eje de las abscisas se representan las frecuencias y se indican las diversas regiones del espectro —ondas de radio, infrarrojo, luz visible y ultravioleta— así como también las longitudes de onda correspondientes a cada frecuencia. En el eje de las ordenadas se representan las potencias efectivas emitidas por unidad de ancho de banda. Las líneas oblicuas muestran las distancias máximas en años luz a las cuales un instrumento de observación "extraterrestre" con una sensibilidad similar a la del radiotelescopio de Arecibo estaría en condiciones de captar las emisiones enviadas desde el sistema solar con una frecuencia y una potencia determinadas.

Si se pretende establecer contacto con una civilización galáctica, se deberá buscar la manera de que la señal que se emite se haga evidente a la civilización receptora. Analizar detenidamente la figura 1 nos ayudará a comprender qué región del espectro y qué potencias deben elegirse para enviar señales inteligentes que se distingan del "ruido de fondo" del sistema solar. Pero debemos considerar, también, las posibles características de las señales inteligentes que pudiéramos recibir desde otros puntos del universo, y en este sentido el primer gran inconveniente que tenemos es tratar de distinguir entre una señal originada en forma artificial de otra generada por una fuente natural (estrellas, moléculas en el medio interestelar, galaxias, cuásares, púlsares, etc.).

Una característica que permitiría determinar el origen inteligente de una señal electromagnética podría ser el carácter particularmente estrecho de su espectro, es decir su monocromaticidad. Las fuentes naturales conocidas no son particularmente monocromáticas. Por ejemplo, los máseres cósmicos, objetos astronómicos que radian de manera muy monocromática, emiten, sin embargo, en frecuencias que se encuentran dentro de una franja de 300 Hz. Una señal inteligente puede generarse con un espectro mucho más definido, pero debemos preguntarnos qué ocurre cuando dicha señal, que supondremos perfectamente monocromática, atraviesa, por ejemplo, plasmas turbulentos constituidos por átomos y moléculas ionizados que se mueven en forma caótica. Estudios realizados por Frank Drake y George Helou en 1978 determinaron que estos plasmas turbulentos sólo producen un ensanchamiento de 0.01 a 0.1 Hz en el caso de una fuente ubicada a distancias entre 4 y 400 años luz. Podemos confiar, entonces, en que una señal inteligente caracterizada por su monocromaticidad, no se confundirá con la emisión de una fuente natural. Si así no fuera, sería porque nos habríamos encontrado con algún fenómeno físico aún desconocido.

Debemos considerar, ahora, cuáles son las frecuencias del espectro óptimas para establecer un enlace interestelar. Imaginemos la existencia de una estación de FM que nos han aconsejado escuchar, pero cuyo lugar en el dial desconocemos. Lo que haremos, obviamente, es mover este último hasta que nuestro receptor se sintonice con la frecuencia en que la estación está transmitiendo. Pero cuando hacemos la extrapolación a nuestro "dial cósmico", sucede que éste, tan sólo en la región de microondas del espectro electromagnético, abarcaría 50.000 diales de receptores de FM juntos...

Observemos ahora, nuevamente, la figura 1. Ella pone de manifiesto que si quisiéramos enviar señales en la parte visible del espectro, éstas pasarían desapercibidas ya que la estrella central —el Sol— emite con una intensidad varios órdenes de magnitud superior a la que puede generar una fuente artificial; lo mismo ocurre en la región del ultravioleta y del infrarrojo. Sin embargo, en la región de las microondas existe una ventana a través de la cual la comunicación sería posible ya que las señales emitidas con cierta potencia podrían ser distinguidas entre el ruido de fondo. Con el objeto de encontrar esta ventana de frecuencias en la que pueda esperarse un mínimo de interferencias, analicemos, también, las señales que registraría un instrumento que explorara el espacio desde cualquier punto de nuestra galaxia. La figura 2 nos ilustra sobre esta cuestión. A frecuencias menores de 1 GHz (10^9 Hz) existen fuentes de origen galácti-

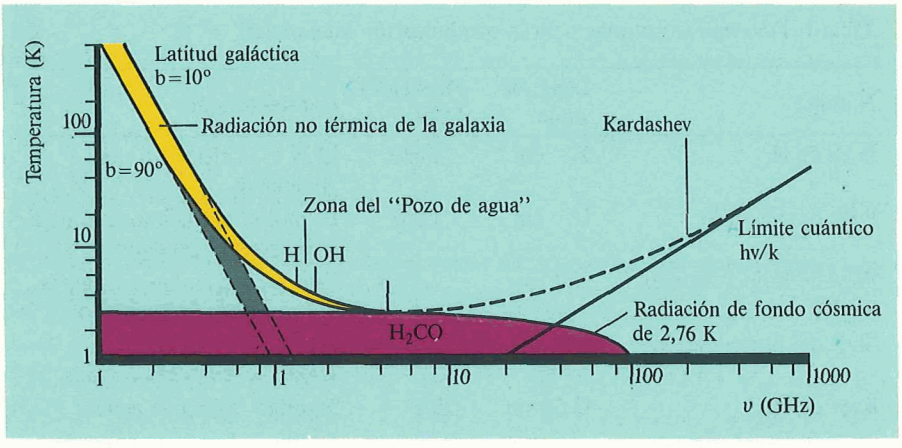


Fig. 2. Relación entre la frecuencia emitida en GHz y la temperatura absoluta dada en grados Kelvin (K) de las fuentes de radiación. Se indican la emisión no térmica de la galaxia en dos diferentes latitudes galácticas (b=90° y b=10°) y el fondo cósmico remanente de la radiación emitida en el Big Bang. Se señala también el límite cuántico del ruido irreductible de los instrumentos de observación (el cuanto de energía hυ=kT, donde h y k son las constantes de Planck y Boltzmann respectivamente, es la mínima cantidad de energía que puede emitir un oscilador con temperatura absoluta T, proporcionando así un límite inferior a las frecuencias posibles). Se muestra la posición de las líneas "mágicas" correspondientes al hidrógeno, al oxhidrilo, al formaldehído y a la bola de fuego primigenia.

co no térmico que son muy intensas. A frecuencias mayores de 100 GHz aparece el ruido cuántico, el fondo irreductible y de intensidad creciente con la frecuencia que posee todo sistema receptor. La ventana buscada podría encontrarse, entonces, entre 1 y 100 GHz y ha de observarse que si quisiéramos explorar toda esta parte del espectro con la resolución espectral óptima de 0,1 Hz necesitaríamos un espectrómetro con aproximadamente un billón de frecuencias distintas. Este hecho complicaría notablemente el problema ya que no poseemos la tecnología necesaria para poder observar simultáneamente tantas frecuencias con dicha resolución. ¿No existirá, entonces, algún criterio que no sólo nos permita acotar el número de frecuencias, sino también esperar que otros seres inteligentes encuentren el mismo camino, ya que compartimos las mismas leyes de la naturaleza?

Los primeros en sugerir la existencia de "frecuencias mágicas" para la comunicación interestelar fueron Giusseppe Cocconi y Philip Morrison en un artículo aparecido en el año 1959 en la revista inglesa *Nature*. Ellos establecieron que la línea espectral del hidrógeno neutro de longitud de onda de 21 cm correspondiente a la frecuencia de 1,42 GHz constituía el canal más obvio para dicho enlace. El hidrógeno es el elemento más abundante en el universo y por aquel entonces era la única línea espectral conocida en la región de las microondas. Estos estudios cobraron una enorme importancia ya que la investigación de señales en torno a esta línea proporciona un vasto conocimiento de las características físicas del medio interestelar (en él se encuentra distribuido el hidrógeno atómico), y de los procesos de formación de estrellas y galaxias. Se podía esperar, por consiguiente, que toda civilización "curiosa" que comprendiera las leyes de la naturaleza y que quisiera saber cómo se producen estos fenómenos, decidiera orientar sus radiotelescopios hacia el espacio exterior sintonizados en dicha frecuencia. Esta consideración y el hecho de que en aquella época ya se contaba con el instrumental necesario para este tipo de observaciones favorecieron los trabajos realizados en torno a tal iniciativa.

A medida que nuestro conocimiento sobre la radioastronomía se fue incrementando, comenzaron a aparecer propuestas sobre otras "frecuencias mágicas" que a continuación describiremos y que han sido resumidas en la figura 3.

La segunda línea espectral que se descubrió en la zona de las microondas corresponde a los cuatro saltos cuánticos que posee la molécula del oxhidrilo (OH) próxima a la longitud de onda de 18 cm. La molécula del agua (H_2O) resulta de la combinación

LA TIERRA OBSERVA

"Los descubrimientos inesperados advienen a las mentes preparadas."
(L. Pasteur)

Desde que Frank Drake orientó en 1960 una de las antenas del Observatorio Nacional de Radioastronomía situado en Green Bank, EE.UU., hacia las estrellas Tau Ceti y Épsilon Eridani, se han desarrollado más de 50 proyectos de búsqueda de civilizaciones extraterrestres que implicaron alrededor de 150.000 horas de observación con distintos tipos de instrumentos. La mayor parte de las búsquedas se centraron alrededor de las líneas espectrales del hidrógeno neutro (H) y del oxhidrilo (OH). Existen hoy dos proyectos que se limitan a trabajar en torno a estas frecuencias con lo que podríamos denominar "dedicación exclusiva". Uno de ellos funciona desde el año 1973 en el antiguo Observatorio de la Universidad de Ohio y el instrumental con que cuenta es muy similar al que actualmente posee el Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR). Tiene un espectrómetro que incluye alrededor de un centenar de filtros con anchos de no menos de 10.000 Hz cada uno, es decir muy superiores a los que pueden esperarse de una señal extraterrestre (0,1 Hz), circunstancia que dificulta su posible detección. El otro proyecto está en operación en la Universidad de Harvard y cuenta con una antena de 26 m de diámetro que escudriña los cielos boreales todos los días del año. Con este fin, la Sociedad Planetaria apoyó al Dr. Paul Horowitz en la construcción de un multiespectrómetro de 8,4 millones de canales con una resolución espectral de 0,05 Hz cada uno. Este instrumento es similar al que se está construyendo para la República Argentina.

La NASA planea lanzar hacia mediados de la década del noventa un proyecto que se divide en dos partes; una de ellas consiste en el examen de todo el cielo para lo que utilizará las antenas de 34 metros situadas en Goldstone (California, EE.UU.); Madrid (España) y Tidbimbila (Australia) y barrerá todas las frecuencias comprendidas entre 1 y 10 GHz con una resolución espectral de 30 Hz. La sensibilidad del sistema será de 10^{-23}W/m^2. La segunda parte del proyecto utilizará la antena de Arecibo para observar unas 200 estrellas cercanas, con una sensibilidad de 10^{-27} W/m^2, en todas las frecuencias comprendidas entre 1 y 3 GHz, con una resolución espectral de 30 Hz.

Hasta el momento, desde el hemisferio sur celeste, las búsquedas han sido limitadas. Frente a las 150.000 horas de observación realizadas desde el hemisferio norte, aquí, debido a la escasez de radiotelescopios, sólo contamos con 1500 horas, de las cuales 500 corresponden al IAR y las restantes a proyectos realizados desde Australia.

Tabla I. Frecuencias óptimas para la comunicación interestelar.

Nombre	Long. de onda	Frecuencia GHz	Consideraciones
línea de H	21 cm	1,420	El H es el elemento más abundante
línea de oxhidrilo	18 cm	1,667	Es molécula fundamental para la formación del agua
línea de Kuiper Morris	11,7 cm	2,5568	Está basada en las constantes universales fundamentales
línea del formaldehído	6,0 cm	4,829	Vinculada a un efecto antimáser en nubes oscuras
línea de H_2O	13,5 mm	22,2	Segundo "pozo de agua"
línea de Drake Heleu	4,3 mm	70,0	Ancho de banda mínimo de emisión
línea de H_2O II	2,0 mm	150,0	Tercer "pozo de agua"
línea de Kardashev I	1,7 mm	175,0	Pico de radiación de la bola de fuego primigenia
línea de Kardashev II	1,5 mm	200,0	

Fig. 3. Frecuencias óptimas para la comunicación interestelar.

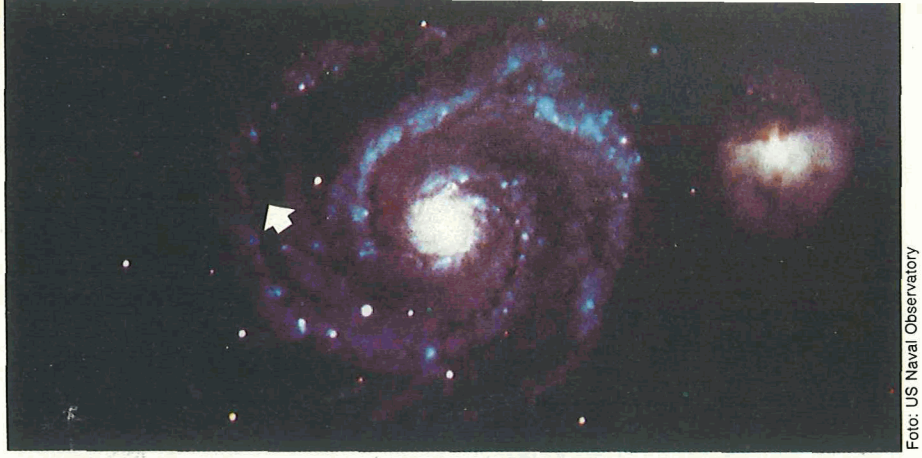


Foto: US Naval Observatory

La galaxia espiral M51. Su estructura es similar a la de nuestra galaxia. Si se tratara de ella, el Sol ocuparía aproximadamente la posición indicada por la flecha.

de un oxhidrilo y un hidrógeno. La mayoría de los programas de búsqueda de inteligencias extraterrestres se centraron en estas dos frecuencias, en la zona del espectro que recibe el nombre de "pozo de agua".

En 1978, Thomas Kuiper y Mark Morris propusieron —por razones que escapan a los objetivos de este trabajo— una ecuación para determinar "frecuencias características", υ_n, en base a las constantes físicas fundamentales de la naturaleza que toda inteligencia debería llegar a descubrir,

$$\upsilon_n = (e^2 / h\ c)^n\ (c/2\pi\ R_{Bohr})$$

donde e es la carga del electrón, h la constante de Planck, c la velocidad de la luz, R_{Bohr} el radio de Bohr y n = 1, 2, 3, 4... Únicamente una onda portadora correspondiente a la frecuencia de 2,5568 GHz (n = 4) puede sintonizarse dentro de la región de la ventana cósmica de microondas. Debemos esperar que en otras partes del universo hayan hecho la misma reflexión...

Ese mismo año, científicos japoneses encabezados por M. Marimoto plantearon una idea sumamente interesante. Estudios realizados sobre el comportamiento de la molécula del formaldehído (H_2CO), que se encuentra en nubes oscuras del medio interestelar compuestas principalmente de gas y polvo, demostraron que se produce un enfriamiento antimáser en esta molécula cuya línea espectral corresponde a una frecuencia de 4,829 GHz. Al observar con nuestros radiotelescopios dichas nubes en la mencionada frecuencia, se detecta que el ruido de la radiación de fondo cósmica baja de 3 a 1 grado Kelvin (K). Entonces, si entre nosotros y la nube oscura hubiera una civilización que estuviera transmitiendo señales sintonizadas en 4,829 GHz, éstas tendrían, en la relación señal/ruido, una eficiencia mayor que la del hidrógeno (véase figura 4).

En 1978, F. Drake y G. Helou, realizaron un estudio del medio interestelar analizando cuáles eran las frecuencias que conducían a un ensanchamiento de banda mínimo y llegaron a la conclusión de que la frecuencia que mejor se ajustaba era la correspondiente a 70 GHz. Más adelante aparecieron otras propuestas como las de buscar alrededor del segundo y tercer "pozo de agua" (las regiones de emisión del vapor del agua ubicadas en 22,2 y 150 GHz respectivamente) y las del científico soviético N. S. Kardashev quien propuso buscar alrededor de 175 y 200 GHz, frecuencias donde se encontraba el pico de la radiación de desacople entre la materia y la energía durante el Big Bang.

Como vemos, determinar una frecuencia verdaderamente adecuada es tarea difícil, compleja e impregnada, por lo general, de prejuicios antropocéntricos...

LA ARGENTINA PARTICIPA

Del 20 al 22 de diciembre de 1985, organizadas por estudiantes de física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, se llevaron a cabo las Primeras Jornadas Interdisciplinarias sobre Vida Inteligente en el Universo. Participaron destacados científicos argentinos y extranjeros, entre éstos R. Bruce Crow de Jet Propulsion Laboratory de la NASA. Se realizaba así, por primera vez en Latinoamérica, una reunión científica de carácter multidisciplinario para tratar temas que abarcaron desde las condiciones del surgimiento de la vida en el cosmos hasta la búsqueda de inteligencias extraterrestres o las posibles consecuencias sociales y culturales de un eventual contacto.

En esta oportunidad, investigadores locales y extranjeros consideraron la posibilidad de realizar proyectos conjuntos. Uno de los resultados inmediatos fue el establecimiento de un programa de búsqueda desde el Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR). Así, desde octubre de 1986, una de las dos antenas de 30 m del IAR fue utilizada en la línea espectral de 21 cm correspondiente al hidrógeno neutro (H) y de 18 cm correspondiente a la molécula de oxhidrilo (OH) para el proyecto BIE (Búsqueda de Inteligencias Extraterrestres). El programa contempla la observación de 89 estrellas cercanas (a distancias menores que 50 años luz de la Tierra) que se encuentran en declinaciones comprendidas entre −40 y −90 grados. Se utilizó este criterio para que no se superpusieran las observaciones locales con las que se pudieran realizar desde el hemisferio norte. Hasta la fecha se han observado alrededor de 70 estrellas sin que se haya detectado señal alguna que pudiera interpretarse como de origen extraterrestre. El límite de la sensibilidad alcanzado por nuestro instrumental fue de $5.10^{-23} W/m^2$.

Fructífera consecuencia de las Jornadas de 1985 fue la reciente firma de un convenio entre la Sociedad Planetaria (organización privada sin fines de lucro presidida por Carl Sagan) y el Instituto Argentino de Radioastronomía dependiente del CONICET. Este convenio establece que la Sociedad Planetaria proveerá asistencia al IAR a fin de que se desarrollen los instrumentos necesarios para realizar las búsquedas de señales inteligentes extraterrestres en el hemisferio sur. Debe señalarse muy especialmente la construcción e instalación de un multiespectrómetro de 8,4 millones de canales con una resolución espectral de 0,05 Hz (META).

La firma del convenio fue anunciada en octubre de 1988 durante una conferencia de BIE que organizó la Sociedad Planetaria en Toronto (Canadá). Se piensa que a fines de 1990 el proyecto ya funcionará en la Argentina.

Las observaciones se realizarán dejando fija la antena en una cierta declinación y mediante la rotación de la Tierra se irá explorando todo el cielo. Cada día la antena se moverá un cuarto de grado en declinación, completándose así en aproximadamente un año el mapa total del cielo del hemisferio sur.

META realizará integraciones de 20 segundos en cada uno de los tres sistemas de referencias elegidos, disponiendo de un dispositivo electrónico que le permitirá corregir el efecto Doppler debido a la rotación y traslación de la Tierra, facilitándole la identificación de interferencias que tengan origen en nuestro planeta.

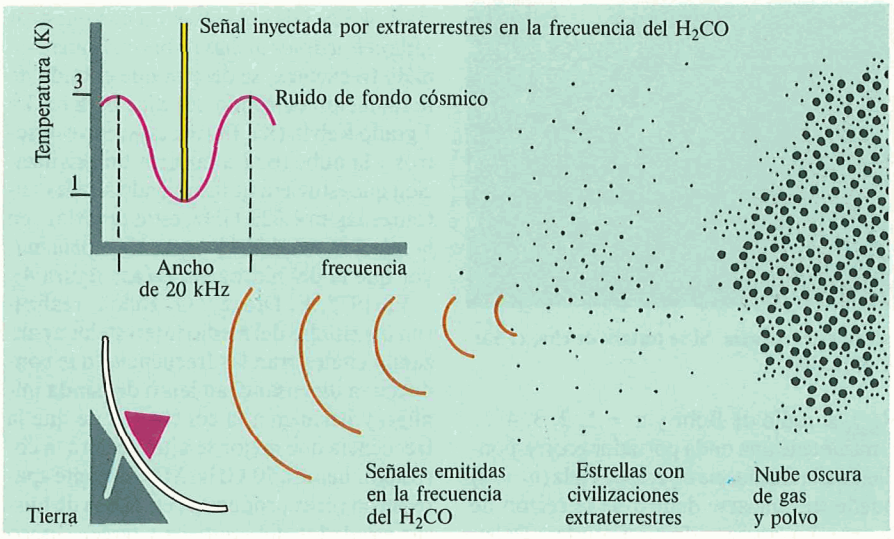


Fig. 4. En nubes oscuras del medio interestelar se produce un enfriamiento antimáser de la molécula de formaldehído (H_2CO) que reduce el ruido de fondo cósmico de 3 a 1 K. Si civilizaciones extraterrestres ubicadas delante de estas nubes transmitieran en la frecuencia propia de dicha molécula, obtendrían un beneficio adicional en sus comunicaciones.

La sensibilidad del sistema receptor (la mínima cantidad de energía por unidad de superficie y de tiempo capaz de ser registrada por el instrumento) depende de muchos factores. Supongamos que una civilización extraterrestre transmite con una potencia idéntica a la del radiotelescopio -radar de Arecibo, de 305 metros de diámetro. En este caso, dicho radiotelescopio, cuya sensibilidad es de $\sim 10^{-27}$ W/m^2, podría captar una señal que proviniera de una distancia superior a 15.000 años luz; a su vez, el radiotelescopio del Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR) de 30 metros de diámetro, que tiene una sensibilidad de 10^{-23} W/m^2 podría detectar dichas señales sólo si provinieran de distancias inferiores a 15 años luz. Esto es así porque la distancia a la cual es posible el enlace interestelar es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la sensibilidad del sistema receptor. Por supuesto no podemos dejar de considerar la posibilidad de que las emisiones extraterrestres fueran un factor un millón de veces más potente ya que esto sería posible para una civilización tecnológica tan sólo unos siglos más adelantada que la nuestra.

¿Hacia dónde debemos orientar nuestros radiotelescopios? Muchos piensan que si seleccionamos las estrellas más brillantes del cielo, nos estaríamos dirigiendo hacia las más cercanas y que por lo tanto tendríamos una mejor relación de sensibilidad en nuestro receptor. Pero si confrontamos las listas de las cien estrellas más brillantes y las cien más cercanas, sólo cuatro de ellas —Sirio, Procyon, Altair, Alpha Centauro— figuran en ambas. Otro dato que debe tenerse en cuenta es que la abundancia de estrellas débiles es un millón de veces mayor que la de las brillantes. Sin embargo, la experiencia ha mostrado que lo intrínsecamente más brillante, aunque esté más alejado, se capta con mayor facilidad que lo relativamente cercano si es débil. Esto vale para estrellas, galaxias, radiofuentes y también, cabe esperar, para las emisiones inteligentes.

En efecto, Drake demostró que si en nuestra galaxia hubiera 300 civilizaciones transmitiendo con cierta potencia y sólo una de ellas lo hiciera con diez veces dicha potencia, ésta sería la que más posibilidades tendría de ser detectada. En cierta forma esto tiende a demostrar que apuntar a estrellas cercanas no sería una estrategia de búsqueda adecuada y que sí lo sería un barrido del plano galáctico, es decir del lugar donde hay mayor densidad de estrellas. Por esta razón, en los últimos años, los programas más importantes de búsqueda de señales extraterrestres exploran todo el cielo. Sólo desde lugares con instrumentos de alta sensibilidad —el caso del tantas veces citado observatorio de Arecibo— se apunta, eventualmente, a una estrella determinada con características análogas a las del Sol.

Cualquier búsqueda sistemática de señales inteligentes extraterrestres debe explorar un espacio de ocho parámetros que Drake llamó "pajar cósmico". El mismo está compuesto por tres dimensiones espaciales que permitirían ubicar la civilización en el espacio físico, una dimensión temporal para ubicar el momento en el cual se está emitiendo, una frecuencia para sintonizar la señal, dos polarizaciones relacionadas con las propiedades físicas de las ondas electromagnéticas y una potencia de recepción. Se puede llegar a determinar que existen 10^{29} celdas de 0,1 Hz de ancho de frecuencia por el sector del cielo correspondiente a un haz de la antena de Arecibo por 10^{-30} W/m^2 de máxima sensibilidad de recepción lograda. Hasta el momento se han explorado 10^{11} celdas mediante observaciones de casi todos los radioobservatorios del mundo que totalizan unas 150.000 horas de registros.

Si logramos sobrevivir a la actual crisis tecnológica deteniendo la costosa carrera armamentista y evitando el holocausto nuclear, las puertas de la exploración y colonización del espacio se nos abren de par en par para el próximo siglo. Durante esta nueva era espacial, podemos imaginar enormes telescopios e interferómetros operando desde el espacio en las distintas regiones del espectro electromagnético: rayos X, ultravioleta, visible, infrarrojo, y radio. Según M. D. Papagiannis (primer Presidente de la Comisión 51 de Bioastronomía de la Unión Astronómica Internacional) un LIRA —multiinterferómetro para observar el infrarrojo— puesto en la luna o en el espacio, no sólo sería capaz de detectar planetas alrededor de las estrellas cercanas, sino también de obtener registros infrarrojos de la existencia de agua, elemento preciado para la vida tal cual la conocemos.

En resumen, nuestra civilización se está acercando a un estado de desarrollo científico y tecnológico que nos permitiría responder a una pregunta fundamental: ¿cuán común es la vida y en especial la inteligente en el universo? Entonces, si logramos superar la autodestrucción, no pasará mucho tiempo sin que algunas de las incógnitas sean develadas. Éste es el momento en el cual debemos aunar esfuerzos para que el proyecto BIE (Búsqueda de Inteligencias Extraterrestres) se transforme en una empresa internacional. Esta responsabilidad no puede permanecer en el ámbito de un solo país, sino que debe ser compartida por la humanidad en su conjunto. Que sea el planeta Tierra todo el que emprenda la búsqueda y decida, en caso de tener éxito, si vale la pena "contestar"... ⊙

LECTURAS SUGERIDAS

Fundación Casa de la Cultura de Córdoba, 1988, *Inteligencia Extraterrestre*, Serie de Reuniones Académicas, Estudios Internacionales Avanzados, Córdoba.

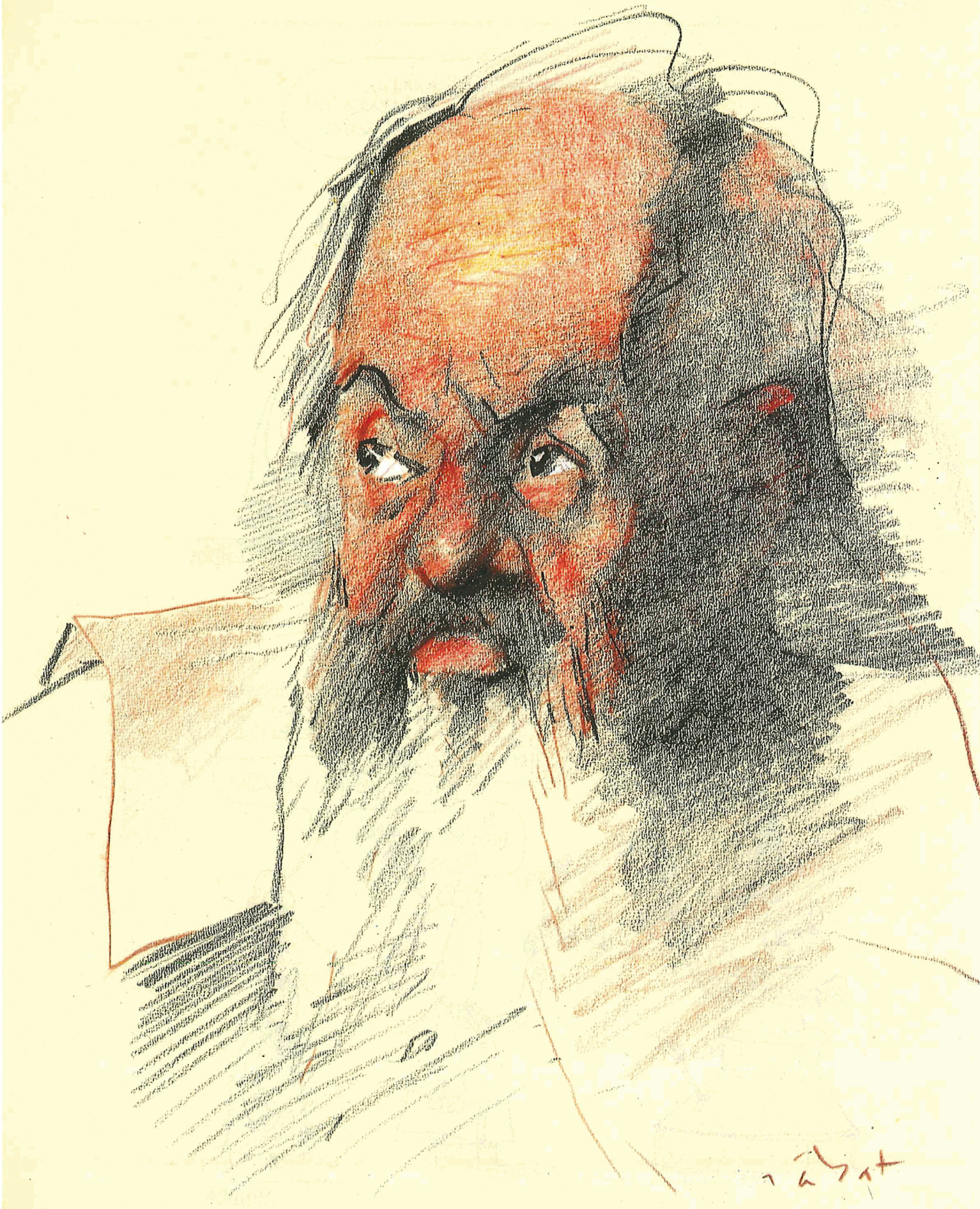
MARX, G. (edit), 1988, *Bioastronomy: The Next Steps*, Proceedings of the International Astronomical Union Colloquium 99, Kluwer, Boston.

MIRABEL, I. F., 1984, "Búsqueda de Vida Extraterrestre", *Revista Astronómica*, N° 20 y en *Universo*, vol. 5, 1985.

PAPAGIANNIS, M. (edit), 1985, *The Search for Extraterrestrial Life: Recent Developments*, Proceedings of the International Astronomical Union Symposium N° 112, D. Reidel & Co.

ESTO ES INCREÍBLE, INGENIERO,... ACABO DE INTERCEPTAR LA COMUNICACIÓN ENTRE DOS CIVILIZACIONES INTELIGENTES DE NUESTRA GALAXIA
¿Y QUÉ DECÍAN?
"COLGÁ, GIL, QUE ESTÁ LIGADO"
SENDRA

CREO, PROFESOR, QUE ALGO SALIÓ MAL AL ENVIAR HACIA LA CONSTELACIÓN DE GÉMINIS LA FÓRMULA DEL TEOREMA DE PITÁGORAS COMO DEMOSTRACIÓN DE QUE EN NUESTRO PLANETA HAY VIDA INTELIGENTE
¿QUÉ? ¿NO HUBO RESPUESTA?
SÍ... PERO NOS BOCHARON EN GEOMETRÍA
SENDRA



GALILEO
y los efectos del tamaño

Fernando Lobo Carneiro
Coordinación de los Programas de Posgrado de Ingeniería (Coppe)
Universidad Federal de Río de Janeiro, Brasil

«¿Quién no ve que un caballo que cae de una altura de tres o cuatro codos se quiebra los huesos, pero que un perro que cae desde la misma altura y un gato desde otra de ocho o diez codos no sufren mal alguno? (...) ¿Quién no ve que los niños quedan ilesos después de una caída, mientras que los viejos se quiebran las piernas y la cabeza? Del mismo modo que los animales menores son proporcionalmente más fuertes y robustos que los mayores, también las plantas se sustentan mejor (...) Una encina de 200 codos de altura no podría sostener sus ramas extendidas, como lo hace una de mediano tamaño (...) La naturaleza no podría hacer un caballo equivalente en tamaño a veinte caballos, ni un gigante diez veces más alto que un hombre, a no ser por milagro o alterando mucho las proporciones de los huesos, que deberían ser simétricamente mucho mayores (...) Así, creo que un pequeño perro sería capaz de cargar a otros dos iguales a él, pero pienso que un caballo no podría cargar ni siquiera a otro igual.»

Galileo Galilei, *Discorsi*, Primera jornada

Galileo abordó con gran clarividencia los problemas relacionados con la semejanza física. Son conocidos sus estudios sobre la capacidad de los cuerpos sólidos, geométricamente semejantes, para resistir cargas adicionales además de su propio peso. Mucho antes de él, es verdad, se utilizaban modelos reducidos en ciertas actividades técnicas, especialmente en la construcción de máquinas y edificios. Pero la ausencia de una teoría de la semejanza física hacía que esos intentos dieran lugar a frecuentes fracasos y frustraciones. En el siglo I a.C., el arquitecto romano Vitruvio llegó a la siguiente conclusión: "Hay algunas cosas que, cuando se las agranda imitando modelos pequeños, son efectivas; otras, no pueden tener modelos". Le cupo a Galileo la primacía de añadir a las condiciones de semejanza geométrica, otras igualmente necesarias conocidas hoy como condiciones de semejanza física. Estas últimas son las que hacen efectivamente posible deducir el comportamiento de los prototipos a partir del comportamiento de los modelos.

El físico y matemático francés Joseph Fourier (1768-1830) en su *Teoría analítica del calor* y el científico soviético contemporáneo Leonid Sedov, en su obra *Semejanza y dimensiones en mecánica*, definen dos procesos como semejantes cuando de las características de uno de ellos podemos deducir las características del otro por un simple cálculo, análogo al de un cambio de sistema de unidades de medida. Para efectuarlo es necesario conocer los "factores de escala". Las condiciones de semejanza física establecen, entre esos factores, relaciones que deben cumplirse. En la actualidad esas condiciones de semejanza física se expresan a través de la igualdad, en el modelo y en el prototipo, de parámetros adimensionales formados por productos de potencias de los parámetros originales del problema y conocidos como "números π".

En la obra de Galileo, es clásico el ejemplo del péndulo. En la Primera jornada de las *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, Salviati —criptónimo del propio Galileo— y su discípulo Sagredo mantienen un diálogo que bastaría para asegurar a Galileo su posición de pionero de la teoría de la semejanza física y de los modelos:

"*Salviati*: (...) En cuanto a la proporción entre los tiempos de oscilación de los móviles suspendidos por hilos de distintas longitudes, esos tiempos guardan entre sí la misma proporción que las raíces cuadradas de las longitudes de sus hilos, lo que significa que las longitudes guardan entre sí la misma relación que los cuadrados de los tiempos (...); de lo que resulta que las lon-

Ilustración: Hermenegildo Sábat

gitudes de los hilos están entre sí en proporción inversa a los cuadrados de los números de oscilaciones ocurridas en el mismo tiempo.

Sagredo: Si entendí bien, podría entonces conocer rápidamente la longitud de una cuerda pendiente de cualquier altura, aunque el punto de la que estuviese atada fuera invisible, con sólo ver su extremo inferior. En efecto, si ato a la parte inferior de esa cuerda un peso bastante grande, al que comunico un movimiento de vaivén, y si un amigo cuenta el número de oscilaciones que se producen, a la vez que cuento las oscilaciones de otro móvil atado a una cuerda de longitud exactamente igual a un codo, a partir del número de oscilaciones de esos péndulos, efectuadas en el mismo tiempo, obtengo el largo de la cuerda. Supongamos, por ejemplo, que en el tiempo en que mi amigo haya contado 20 oscilaciones de la cuerda larga, yo haya contado 240 de la mía... Diré que la cuerda larga contiene 57.600 unidades de las cuales la corta contiene 400... Entonces podré decir que la cuerda larga tiene 144 codos de longitud.

Salviati: No habrías errado ni un palmo, sobre todo si considerases un número grande de oscilaciones."

El péndulo constituido por la cuerda larga, con un cuerpo atado a su extremo inferior, es el "prototipo", del cual el pequeño péndulo es el "modelo reducido". La ley descubierta por Galileo según la cual, en el caso de las oscilaciones de péndulos, la escala del tiempo es igual a la raíz cuadrada de la escala geométrica, permite deducir parámetros del prototipo a partir de las observaciones hechas sobre la base del comportamiento del modelo. Así, conociendo la escala del tiempo gracias a la comparación de los períodos de oscilación del modelo y del prototipo, se puede deducir la longitud de este último con sólo conocer la longitud del primero. En el ejemplo dado por Salviati, sería muy difícil determinar directamente la longitud del péndulo-prototipo, ya que el extremo superior de la cuerda está fijado a una altura tan grande que puede hasta ser invisible, por ejemplo en lo alto de una torre. El uso del modelo en escala reducida permite la determinación indirecta de esa longitud, y es exactamente ésa la "filosofía" del uso de modelos reducidos en las investigaciones experimentales (véase "Las leyes del péndulo").

En el ejemplo dado por Galileo, la "escala del tiempo" se determina directamente: es igual a la inversa de 240/20 o sea 1:12. La escala geométrica, igual al cuadrado de la escala del tiempo, será 1:144, y el péndulo-prototipo tendrá una longitud igual a 144 veces la del péndulo-modelo. En este caso, la condición de semejanza física corresponde a la ley de Galileo según la cual el período de oscilación T de un péndulo es proporcional a la raíz cuadrada de su longitud: $T \sim \sqrt{l}$. Hoy se sabe que ese período depen-

A TRES SIGLOS Y MEDIO DE LOS *DISCORSI*

En 1988 se conmemoraron los 350 años de la publicación de la obra fundamental de Galileo, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* ["Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias"], conocida como los *Discorsi*. La fecha fue celebrada en el mundo entero con la aparición de estudios, la realización de debates y la preparación de exposiciones sobre la obra galileana. El libro fue publicado cuando Galileo tenía 74 años y, completamente ciego, permanecía confinado por la Inquisición a raíz de su condena por su defensa de la idea de que el Sol, y no la Tierra, ocupa el centro del sistema planetario en que vivimos. Después de infructuosas tentativas realizadas en diversos países, la obra fue publicada por primera vez en Holanda. Está escrita en forma de diálogos, en la modalidad que había sido habitual en la Grecia clásica y que se volviera común nuevamente en el Renacimiento. Los tres interlocutores de los *Discorsi* son: Salviati (que representa al propio Galileo), Simplicio (que defiende la filosofía y la física de Aristóteles) y Sagredo (personaje práctico, de mentalidad abierta y que actúa como una suerte de árbitro entre las posiciones encontradas de los anteriores).

El libro consta básicamente de cuatro "jornadas" (*giornate*). La primera es una introducción a las "dos nuevas ciencias": la resistencia de materiales y el estudio del movimiento. La segunda trata temas de estática y desarrolla las ideas y modelos de Galileo sobre la resistencia de materiales. En las dos últimas se discute el movimiento uniforme y el movimiento uniformemente acelerado, y además las leyes que rigen el movimiento de los proyectiles. Es el primer tratado, en sentido moderno, sobre la cinemática y la dinámica de los movimientos que ocurren en proximidades de la superficie terrestre.

LAS LEYES DEL PÉNDULO

Una contribución fundamental de Galileo fue el descubrimiento de las leyes del péndulo: el isocronismo aproximado de las pequeñas oscilaciones —que Christian Huygens (1629-1695) demostraría más tarde no ser válido para las grandes— y el hecho de que los períodos de oscilación son independientes de la materia y del peso, siendo proporcionales a las raíces cuadradas de sus respectivas longitudes.

Galileo llegó a esas leyes a través de la experimentación y, aunque tenía la intención de demostrarlas teóricamente, nunca llegó a hacerlo, dadas las carencias de la matemática de su tiempo. A partir de las leyes de descenso de los movimientos a lo largo de planos inclinados, todo lo que consiguió fue demostrar la igualdad de los tiempos de descenso a lo largo de cuerdas que unen el punto más bajo con cualquier punto de una circunferencia con centro en el punto de suspensión del péndulo y radio igual a su longitud. Ese tiempo de descenso sería así igual al tiempo de caída libre a lo largo del diámetro vertical, que es la cuerda mayor. Pudo también demostrar que el tiempo de caída a lo largo del arco de circunferencia que une la posición extrema con el punto más bajo es un poco menor que el tiempo de caída a lo largo de la cuerda correspondiente. El período del péndulo sería, por lo tanto, un poco menor que el tiempo de caída libre a lo largo del doble de su longitud. Más tarde, Isaac Newton (1642-1727) y Jacques Bernouilli (1654-1705) demostraron que el tiempo de caída libre sería menor a lo largo de la cicloide: ésta sería la braquistócrona y no la circunferencia como suponía Galileo.

Trabajando siempre con proporciones y no con valores absolutos, Galileo no determinó nunca el factor de proporcionalidad de la ley que vincula el período T con la raíz cuadrada de la longitud l del péndulo, y tampoco el valor de la aceleración de la gravedad g, factor de proporcionalidad que liga el doble del espacio s recorrido en caída libre con el cuadrado del tiempo de caída t. Hoy conocemos estos factores de proporcionalidad. Para la caída libre se tiene: $s = 1/2\ gt^2$ y $v = gt = \sqrt{2gs}$; para el péndulo, $T = 2\pi\ \sqrt{l/g}$.

Examinando los manuscritos de Galileo archivados en la Biblioteca Nacional de Florencia, Stillman Drake descubrió

que Galileo había determinado experimentalmente, con admirable precisión, la relación entre el cuarto del período de oscilación (que es el tiempo de caída a lo largo del arco de círculo que une la posición extrema con el punto más bajo) y el tiempo de caída vertical a lo largo de la longitud del péndulo. Esa relación, igual a $\pi/2\sqrt{2}$, fue denominada por Drake "constante de Galileo".

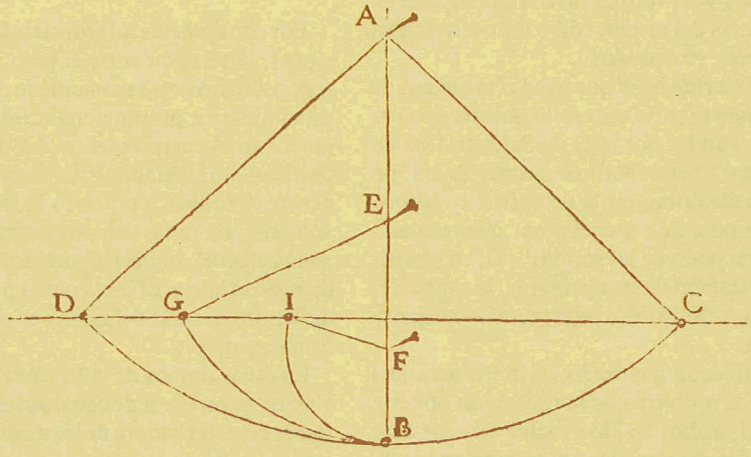
Fue también de importancia capital la utilización del péndulo hecha por Galileo para comprobar experimentalmente una hipótesis en que basara su teoría del plano inclinado. Se trata del postulado de que el valor de la velocidad adquirida por un móvil que, partiendo del reposo, se desliza sin fricción por acción de la gravedad a lo largo de cualquier curva o superficie, es independiente de la forma de la trayectoria, y sólo es función de la "altura equivalente de caída", o sea de la diferencia de nivel entre el punto de partida y el de llegada. (Galileo, además, hace mención expresa a planos con distintas inclinaciones y a arcos de circunferencia de radios diferentes.) El "ímpetu adquirido" —como él lo expresa— hará que el móvil suba nuevamente, por cualquier otra trayectoria, hasta el nivel inicial, "suponiendo eliminados todos los obstáculos accidentales y externos" debidos "a la resistencia opuesta por el aire" y "al propio hilo". El "grado de velocidad adquirido" (otra vez una expresión de Galileo) es igual al que se verifica al final de un movimiento de caída libre, proporcional a la raíz cuadrada de la altura de caída.

Para confirmar esa hipótesis —que anticipa el "teorema de las fuerzas vivas" o el principio de conservación de la energía mecánica— Galileo recurre a un ingenioso dispositivo. El péndulo es obligado a oscilar, a uno y otro lado de la vertical que pasa por su punto de suspensión, según dos arcos de círculo de radios diferentes, para lo cual se coloca un clavo debajo del punto de suspensión. El movimento ascendente, una vez pasado el punto más bajo, se detiene cuando se alcanza aproximadamente el nivel del punto de partida, "menos un pequeñísimo intervalo debido a los obstáculos". A esa experiencia, según la expresión de Galileo, "poco le falta para que pueda ser considerada una demostración necesaria".

De la edición original de los *Discorsi*, Leiden, Elzevir, 1638

DEL GALILEO. 167

Salu. *Voi molto probabilmente discorrete : mà oltre al verisimile voglio con vna esperienza accrescer tanto la probabilità, che poco gli manchi all' agguagliarsi ad vna ben necessaria dimostrazione. Figurateui questo foglio essere vna parete eretta all' orizonte, e da vn chiodo fitto in essa pendere vna palla di piombo d' un oncia, ò due sospesa dal sottil filo* A B *lungo due, ò tre braccia perpendicolare all' orizonte ; e nella parete segnate vna linea orizontale* D C *segante à squadra il perpendicolo* A B, *il quale sia lontano dalla parete due dita in circa : trasferendo poi il filo* A B *con la palla in* A C, *lasciate essa palla in libertà, la quale primieramente vedre-*



te scendere descriuendo l' arco C B D, *e di tanto trapassare il termine* B, *che scorrendo per l'arco* B D *sormonterà fino quasi alla segnata parallela* C D, *restando di peruenirui per piccolissimo interuallo, toltogli il precisamente arriuarui dall' impedimento dell' aria, e del filo. Dal che possiamo veracemente concludere, che l impeto acquistato nel punto* B *dalla palla nello scendere per l'arco* C B, *fù tanto, che bastò à risospingersi per vn simile arco* B D *alla medesima altezza; fatta, e più volte reiterata cotale esperienza, voglio che fichiamo nella parete rasente al perpendicolo* A B *vn chiodo, come*

La conservación del "ímpetu". Dispositivo utilizado por Galileo para comprobar experimentalmente un principio básico de su mecánica: el péndulo, después de recorrer el arco de circunferencia CB (con centro en A), sube por el arco BG (con centro en E) o BI (con centro en F) alcanzando siempre el mismo nivel DC, excepto un "pequeño intervalo, causado por la resistencia que oponen el aire y el hilo". Según la expresión de Galileo, "el ímpetu adquirido por la esfera en el punto B, al recorrer el arco CB, fue suficiente para elevarla a la misma altura, siguiendo un arco similar BD".

de también de la aceleración de la gravedad (g), y es proporcional a la inversa de $\sqrt{g}$: $T = 2\pi\sqrt{l/g}$.

La recomendación de que el peso atado al extremo inferior de la cuerda sea bastante grande —*un assai grave peso*— se sustenta en las consideraciones hechas por Galileo sobre la resistencia ofrecida por el medio, que él admite es tanto mayor cuanto más grande es la superficie del cuerpo, considerando que el peso de éste es proporcional a su volumen. Cuando se consideran dos cuerpos geométricamente semejantes y de la misma sustancia, la resistencia que ofrece el medio a un movimiento es, en proporción a la masa, mucho mayor en el cuerpo más pequeño. Para reducir al máximo la perturbación así causada, Galileo recomienda "escoger los materiales y las formas menos sujetos a la resistencia del medio, como los cuerpos muy pesados y redondos".

La claridad con que trató el problema de la semejanza física resulta notoria una vez más cuando, por boca de Salviati, Galileo afirma: "Sepa ahora, Sr. Simplicio, que no se puede disminuir la superficie en la misma proporción que el peso, manteniendo la semejanza de las formas". O, en una generalización de esas palabras, la simple semejanza geométrica no asegura la semejanza física.

Habiendo analizado en la Primera jornada el problema de la resistencia opuesta por el medio, Galileo vuelve a la cuestión en la Cuarta jornada. Allí comienza por evaluar la influencia de la pérdida de peso prevista por el principio de Arquímedes, la cual sólo es significativa cuando la densidad del medio, comparada con la del cuerpo, es grande.

Dice Galileo: "Pero, como el mismo medio puede reducir marcadamente la velocidad de móviles que difieren sólo en tamaño, aunque sean del mismo material y de la misma forma, es necesario para explicarlo un razonamiento más agudo que el que basta para entender cómo una superficie mayor o el movimiento contrario del medio contra el móvil retardan la velocidad de éste... Encuentro que la causa es la aspereza y la porosidad que se hallan habitualmente y acaso necesariamente en las superficies de los cuerpos sólidos, y que, durante el movimiento, chocan con el aire o con otro medio ambiente... Es indudable que cuando caen los móviles, esas asperezas, al chocar con el medio fluido, producirán una disminución de la velocidad tanto mayor cuanto mayor sea la superficie, como es el caso de la de los sólidos menores comparados con la de los mayores... Al reducirse [de tamaño] un sólido pesado, su peso decrece proporcionalmente a su volumen; dado que el volumen decrece más que la superficie (al conservarse siempre la semejanza de las formas) el peso también disminuirá más que la superficie... Y lo que ejemplifiqué con los cubos ocurre con todos los sólidos semejantes entre sí, cuyos volúmenes están en proporción sesquiáltera [potencia 3/2] con sus superficies... Si las superficies son proporcionales al cuadrado de las líneas y [los volúmenes de] los sólidos son proporcionales al cubo de ellas... [los volúmenes de] los sólidos están en proporción sesquiáltera con las superficies".

Expresemos este razonamiento en lenguaje algebraico moderno: sea V el volumen, S la superficie y l una dimensión lineal; se tiene que, para cuerpos geométricamente semejantes, son válidas las relaciones:

$$\text{si } V \sim l^3 \text{ y } S \sim l^2 \text{ entonces } V \sim S^{3/2}$$

Por consiguiente, al reducirse las dimensiones, la relación entre el peso y la resistencia del medio no se mantiene constante: esta última es, proporcionalmente al peso, mayor en el cuerpo menor. La semejanza física no es respetada. Esta desproporción ocurre en todos los procesos físicos que involucren, al mismo tiempo, parámetros dependientes del volumen y parámetros dependientes de la superficie, como en los casos de la transferencia del calor y en el metabolismo animal.

En otros tramos de la Primera jornada, Galileo se refiere a desigualdades de la influencia perturbadora de los medios, segun éstos sean "más resistentes" o "más penetrables", o aun de densidades distintas (*sottilitá* y *raritá*).

En la Cuarta jornada se aborda la influencia de la velocidad: "En lo que se refiere a la velocidad, cuanto mayor sea ella, mayor será la resistencia ofrecida por el aire". Algunos tramos de esta parte de la obra —de redacción un tanto confusa y susceptible de interpretaciones incorrectas— parecen indicar que Galileo suponía que la resistencia del medio fluido es proporcional a la velocidad: "(...) la misma cantidad de velocidad del móvil es, al mismo tiempo, causa y medida de la cantidad de resistencia". Concluía entonces que "los impedimentos" impuestos por el medio se dan en la misma proporción que las velocidades" y cree comprobar esa conclusión con el hecho de no poder observar la influencia del amortiguamiento de las oscilaciones pendulares de diferentes amplitudes sobre los respectivos períodos, que son prácticamente independientes de tales amplitudes.

El "número de Reynolds" es un parámetro adimensional, o "número π", igual al producto de una dimensión característica del cuerpo —el diámetro de una esfera, por ejemplo— por la velocidad, dividido por la viscosidad cinemática. Ésta, por su parte, es igual a la relación entre la viscosidad y la masa específica del fluido. Hoy sabemos que, para pequeños números de Reynolds, la resistencia del medio fluido es aproximadamente proporcional a la velocidad, en tanto que para números de Reynolds mayores es proporcional al cuadrado de la velocidad. En el primer caso, esa resistencia depende principalmente de la viscosidad cinemática del fluido; en el segundo, de su densidad. En los casos de caída de cuerpos sólidos o de péndulos en movimiento en el aire, cuya viscosidad cinemática es muy pequeña, el número de Reynolds es grande, aun para bajas velocidades, y la resistencia del medio puede ser considerada proporcional al cuadrado de la velocidad y no a la velocidad misma.

Para movimientos en un mismo medio y con igual velocidad, la semejanza física de dos sólidos geométricamente semejantes sólo estará asegurada si el sólido menor tiene más densidad que el mayor, siendo los dos, por lo tanto, de materiales diferentes. Si ambos sólidos fueran del mismo material, teniendo entonces la misma densidad, la resistencia del medio será, en proporción al peso, mayor en el sólido menor —como Galileo mostró claramente— lo que significa que la velocidad del sólido menor será más retardada por el medio que la del mayor.

Antes de considerar el problema de la resistencia a la ruptura de cuerpos sólidos geométricamente semejantes pero de tamaños diferentes, que fuera tratado por Galileo al comienzo de la Primera jornada y principalmente en la Segunda jornada, remitimos al lector al comentario de un aspecto fundamental de su obra: el método generalmente conocido como de "pasaje al límite", o sea la extrapolación cuantitativa de situaciones experimentales complicadas por la influencia perturbadora de los "accidentes" al caso límite teórico, ideal (véase "El pasaje al caso límite").

Con frecuencia se ignora que la primera de las "dos nuevas ciencias" presentadas en los *Discorsi* es la teoría de la resistencia a la ruptura de los cuerpos sólidos, conocida tradicionalmente como teoría de la resistencia de materiales. La misma es expuesta al comienzo de la Primera jornada y a lo largo de toda la Segunda jornada, que se titula "Scienza nuova prima, intorno a la resistenza de i corpi solidi all'essere spezzati". La segunda de las "nuevas ciencias", expuesta en la Tercera y Cuarta jornadas es la "Scienza nuova altra, de i movimenti locali".

Galileo fue impulsado a investigar la resistencia de los cuerpos sólidos debido a un problema de violación de la semejanza físi-

EL PASAJE AL CASO LÍMITE

El método galileano del "pasaje al límite" es formulado en la Cuarta jornada. "En cuanto a la perturbación originada por la resistencia del medio, es una dificultad muy importante y, dadas sus múltiples variedades, es imposible someterla a reglas físicas y tratarla científicamente... Al igual que el movimiento en el plano horizontal, que debería ser uniforme y constante cuando se eliminan todos los obstáculos pero que es alterado por la resistencia del aire y finalmente cesa, en este caso ocurrirá lo mismo y tanto más rápidamente cuanto más liviano sea el móvil. Estas propiedades referentes a la gravedad, a la velocidad y también a la forma, por ser variables de infinitas maneras, no pueden tratarse de un modo rigurosamente científico; por ello, para tratar científicamente estas materias es necesario prescindir de la consideración de esas propiedades y, luego de haber encontrado y demostrado las conclusiones que no tienen en cuenta las resistencias, hacer uso de ellas, en el momento de aplicarlas concretamente, con aquellas limitaciones que la experiencia nos enseña... La ventaja de este método no será pequeña, dado que se pueden escoger los materiales y las formas menos sujetos a los impedimentos del medio, como son los cuerpos muy pesados y redondos; y las distancias y velocidades no serán en general tan grandes que las diferencias no puedan ser corregidas con precisión".

En la Primera jornada, a partir de razonamientos deductivos y aparentemente apriorísticos, Galileo concluyó que "no es cierto que un móvil más pesado se mueva con mayor velocidad que otro menos pesado, entendiendo que sean ambos de la misma materia, como aquéllos de los que habla Aristóteles". La demostración —basada en el análisis de las contradicciones contenidas en la teoría del filósofo griego— sólo se aplicaría a "cuerpos de la misma sustancia o del mismo peso específico".

Para extender a todos los cuerpos la ley de igualdad de tiempos de caída, incluso a aquéllos de materiales y densidades diferentes, Galileo abandona cualquier tentativa de demostración apriorística y recurre a la observación y al método del "pasaje al límite". "Si verificamos de manera efectiva que los móviles de pesos distintos difieren cada vez menos en velocidad a medida que los medios son cada vez más penetrables y que, finalmente, aun siendo extremadamente desiguales en peso, en un medio más tenue, aunque no vacío, la desigualdad de las velocidades es pequeñísima y casi inobservable, creo que podemos admitir como conjetura altamente probable que en el vacío sus velocidades serían totalmente iguales... La diferencia de velocidad en móviles de diferente peso no tiene origen en esa diferencia de peso, sino que depende de accidentes externos y, particularmente, de la resistencia del medio, de modo que, eliminada ésta, todos los móviles se moverían con los mismos grados de velocidad".

A pedido de Sagredo, Galileo relata experiencias que realizara para comprobar de modo más directo esas conclusiones, basadas en simples observaciones. Como era muy difícil medir los tiempos de caída vertical libre, se le ocurrió hacer descender por planos inclinados esferas de materiales y pesos diferentes; en el intento de eliminar los obstáculos que pudiesen surgir del contacto de esos móviles con el plano inclinado, construirá dos péndulos de igual longitud, uno con una bola de plomo y otro con una de corcho. Verificará que, a pesar de que la resistencia del medio hacía disminuir más rápidamente las oscilaciones del péndulo de corcho que las del péndulo de plomo, los períodos de las mismas se mantenían prácticamente iguales. Siendo así, cuando los dos péndulos oscilan con la misma amplitud, puede decirse que sus velocidades son iguales. Es interesante observar aquí que Galileo descubrió experimentalmente un fenómeno que sólo sería explicado teóricamente dos siglos más tarde: la amortiguación del péndulo, cuando es pequeña, aunque pueda causar una disminución significativa de las amplitudes de las oscilaciones, tiene influencia despreciable sobre la frecuencia.

ca. Dicho problema fue constatado empíricamente en el gran taller que era el arsenal de Venecia, al compararse el comportamiento de estructuras geométricamente semejantes y construidas con el mismo material, pero a escalas diferentes. Los operarios encargados de las obras comentaron a Galileo que, según su propia experiencia, las estructuras mayores tenían menor capacidad de resistencia a las cargas adicionales, en relación con su peso propio, que las pequeñas.

Esta observación era corroborada por innumerables hechos observables en la vida cotidiana: animales, plantas y estructuras de gran porte parecen ser proporcionalmente menos resistentes que los más pequeños, aun cuando sean aproximadamente semejantes desde el punto de vista geométrico. A partir de ello, Galileo intentó elaborar una teoría sobre la resistencia de los cuerpos sólidos. Y es él quien nos cuenta lo que motivó su investigación: "Lo que ocurre con el Sr. Simplicio también ocurrió conmigo durante cierto tiempo, al creer que las resistencias de los sólidos semejantes eran semejantes: hasta que cierta observación, al principio no muy precisa, pareció indicarme que los sólidos semejantes no lo son en cuanto a su robustez, sino que los mayores son menos aptos para soportar los choques violentos... Esa observación me llevó a investigar lo que ahora pretendo demostrar".

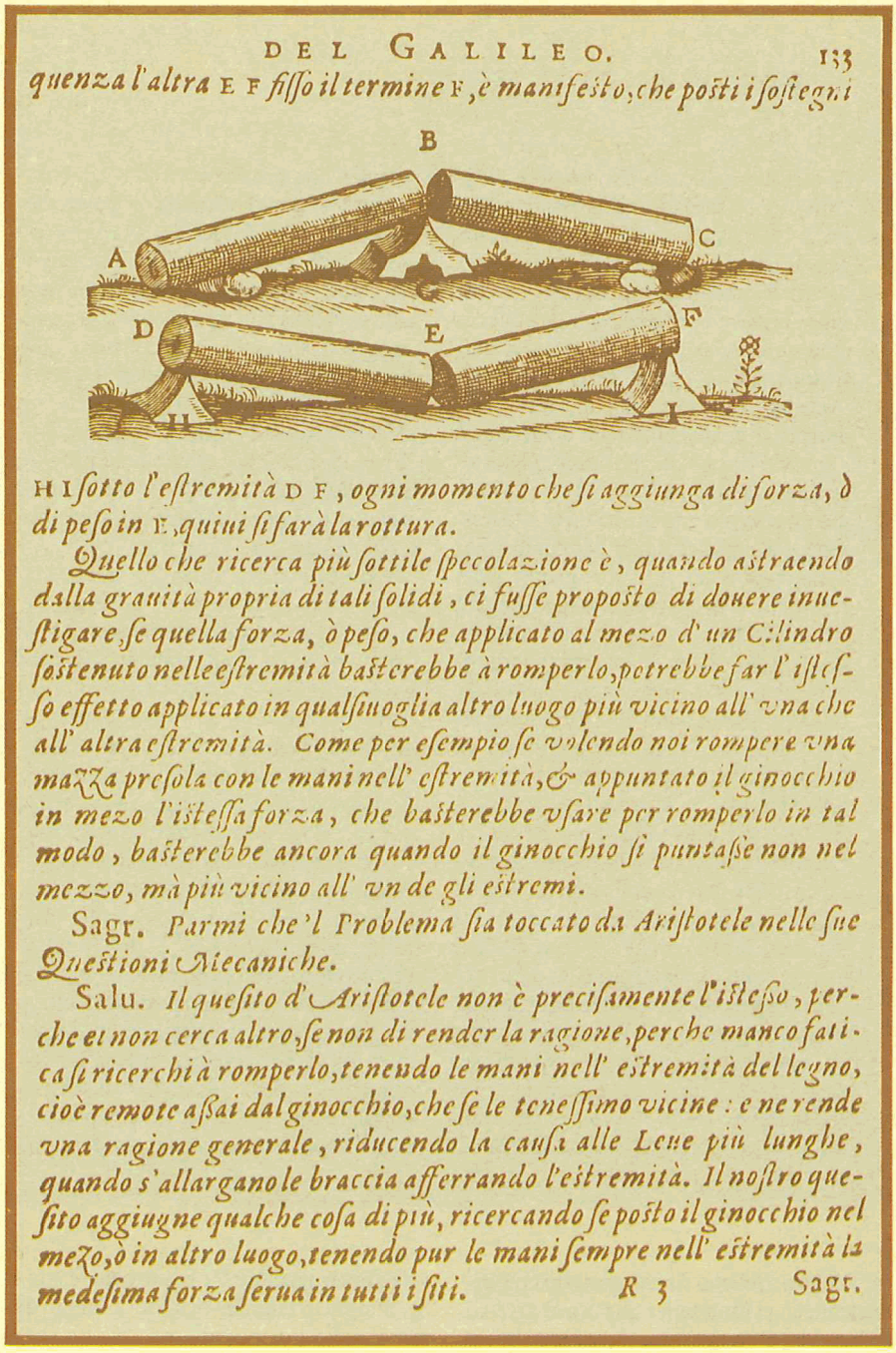
Desde un principio, Galileo rechazó la tesis de que el mal comportamiento de las estructuras mayores resultaría sólo de las "imperfecciones de la materia", esto es, de la heterogeneidad de los materiales y de los defectos de fabricación. "Afirmaré también que, haciendo abstracción de todas las imperfecciones de la materia y suponiéndola perfectísima, inalterable y exenta de todo cambio accidental, su sola existencia material hace que la máquina mayor, fabricada con la misma materia y las mismas proporciones que la menor, sea perfectamente simétrica a ésta en todas sus condiciones excepto en el vigor y la resistencia al tratamiento violento; y cuanto mayor sea, será proporcionalmente más débil."

En su teoría de la resistencia a la ruptura de los cuerpos sólidos, Galileo demuestra que en la violación de la semejanza física reside la causa de la llamada "debilidad relativa de los gigantes": si se aumentan las dimensiones de un cuerpo, conservando la semejanza geométrica, el peso del mismo aumenta en proporción mayor que su capacidad de resistir las cargas adicionales, ya que el peso varía con el cubo de la escala geométrica en tanto la capacidad de resistir aumenta con su cuadrado.

La hipótesis inicial de Galileo fue que la resistencia de los cuerpos prismáticos a las

cargas longitudinales de tracción (es decir, aplicadas longitudinalmente en la dirección del eje de los cuerpos prismáticos o cilíndricos, como la acción ejercida por un peso aplicado al extremo inferior de un hilo fijado en el extremo superior) es, para un material dado, proporcional al área de la sección transversal. Introducía así, por vez primera, el concepto de tensión de ruptura (fuerza por unidad de área). Para demostrar experimentalmente su hipótesis, realizó ensayos de tracción con hilos. Verificó que las cargas de ruptura son proporcionales a las áreas de las secciones transversales y que, por consiguiente, para un mismo material, el cociente de las cargas por las áreas se mantenía aproximadamente constante. Ese cociente es, precisamente, la "tensión de ruptura" del material.

A continuación, tomando como base los principios de la estática —sintetizados en el "principio de la palanca" de Arquímedes— construyó una teoría de la flexión de piezas prismáticas de sección rectangular o circular. Aunque incluya un coeficiente numérico errado, esa teoría condujo a conclusiones correctas sobre las proporciones entre las resistencias de vigas con luces (distancia entre apoyos) y secciones transversales diferentes, ya se trate de vigas en equilibrio sobre un apoyo o con dos apoyos. En esa formulación, Galileo usó el principio de la palanca para comparar el momento de las fuerzas aplicadas a la viga, inclusive el de su peso propio, con el momento resistente de la sección transversal. Su error fue tomar como pivote el borde comprimido de la sección transversal y en tomar como esfuerzo resistente la resistencia a la tracción de esa sección, aplicada en el respectivo centro de gravedad (o sea, suponer que las tensiones de tracción se distribuyen uniformemente en toda la sección transversal). Ese error, sin embargo, no afecta a las relaciones entre resistencias de vigas. Todas las conclusiones de Galileo sobre estas relaciones, expresadas en las "proposiciones" de la Segunda jornada, son correctas.



De la edición original de los *Discorsi*, Leiden, Elzevir, 1638

Viga recta simplemente apoyada. Después de aplicar su teoría de la flexión al caso de la viga en equilibrio sobre un apoyo, Galileo pasó al estudio de la viga en equilibrio sobre dos apoyos, representada en la parte inferior de la figura. Considerando el caso más general en que la fuerza es aplicada en cualquier punto de la luz (distancia entre los apoyos), Galileo llegó a un resultado correcto, que coincide con la fórmula actualmente utilizada por los ingenieros para calcular el momento máximo de flexión de la viga.

De la teoría de Galileo resulta que vigas geométricamente semejantes, haciendo abstracción de sus pesos propios, son capaces de resistir cargas externas proporcionales al cuadrado de una de sus dimensiones. El peso propio de la viga, que es también una carga que actúa sobre ella, es proporcional al cubo de esa dimensión. Esto implica que, cuando se aumentan todas las dimensiones conservando la semejanza geométrica, el peso propio crece en mayor proporción que la capacidad de resistir a las cargas aplicadas. En la "Proposición VI" de la Segunda jornada Galileo afirma que los esfuerzos en las secciones transversales de ruptura, resultantes del peso propio, y las resistencias de esas secciones mantienen entre sí una proporción sesquiáltera [potencia 3/2].

Resulta, como consecuencia, la "Proposición VII", sin duda la más importante de la Segunda jornada: "Entre los prismas y cilindros pesados, existe uno y sólo uno que se encuentra, por efectos de su peso propio, en estado límite entre la ruptura y la no-ruptura, de modo que todo sólido mayor, incapaz de resistir su propio peso, se romperá, en tanto que todo sólido menor opondrá alguna resistencia a una fuerza destinada a romperlo".

Comentando esta "proposición" Galileo aclara: "Sea el prisma pesado AB, cuya longitud es la mayor que puede sustentar, de modo que por poco que fuese alargado se rompería. Afirmo que ese prisma es el único entre todos los prismas semejantes (cuyo número es infinito) capaz de ser reducido a ese estado límite. Cualquier prisma ma-

yor se romperá por acción de su propio peso, en tanto, contrariamente, cualquier prisma menor resistirá una carga adicional, además de su propio peso".

Con esta proposición, Galileo introdujo un nuevo concepto, el de "tamaño límite" de una estructura: "(. . .) de lo demostrado hasta aquí se infiere claramente la imposibilidad, no sólo en el arte sino también en la naturaleza, de agrandar sus construcciones hasta tamaños enormes, de modo que sería imposible construir navíos, palacios o templos inmensos, cuyos remos, mástiles, vigas y cadenas de hierro y, en una palabra, todas sus partes constituyesen un todo. Asimismo, la naturaleza no podría originar árboles de tamaño colosal, porque sus ramas, arqueadas por su propio peso, acabarían por romperse. De igual modo sería imposible construir estructuras óseas para los hombres, los caballos u otros animales que pudiesen subsistir y desempeñar sus propias funciones ya que, para que tales animales tuviesen alturas inmensas, debería utilizarse un material más duro o más resistente que el habitual. . . A partir de aquí es evidente que quien quisiera mantener, en un inmenso gigante, las proporciones de los miembros de un hombre común, debería encontrar un material mucho más duro y resistente para formarle los huesos o bien admitir que su robustez es proporcionalmente mucho menor que la de los hombres de baja estatura ya que, de otro modo, aumentando demasiado su altura lo veríamos caer, sobrecargado por su propio peso. Contrariamente, puede verificarse que al disminuir los cuerpos no disminuyen las fuerzas en la misma proporción sino, más bien, que los menores se vuelven proporcionalmente más resistentes".

A una objeción de Simplicio basada en las grandes masas de las ballenas, Galileo responde: "Su duda, Sr. Simplicio, llama mi atención sobre una condición no advertida antes, y que hace que los gigantes y otros animales enormes puedan mantener su consistencia y moverse no menos que los más pequeños; eso puede ocurrir no sólo cuando se aumenta la fuerza de los huesos u otras partes del cuerpo cuya función es la de sustentar tanto el propio peso como el que le es acrecentado, sino también cuando, manteniendo la estructura ósea las mismas proporciones, los mismos esqueletos conservan su consistencia de una manera idéntica, y hasta más fácilmente, si se disminuye proporcionalmente el peso de la materia de los propios huesos y el peso de la carne o de todo lo que se apoya sobre los huesos. Es de este segundo artificio que se vale la naturaleza en la constitución de los peces, haciendo sus huesos y músculos no sólo más leves sino también sin gravedad. . . De esta forma deja de ser extraordinario que puedan existir en el agua animales enormes, lo que no ocurre sobre la tierra, es decir, en el aire. . . Además, entiendo fácilmente que uno de esos peces gigantescos, llevado a tie-

De la edición original de los *Discorsi*, Leiden, Elzevir, 1638

Resistencia de los cuerpos sólidos a la ruptura. En las figuras, Galileo muestra dos casos de cuerpos sólidos alargados, de forma cilíndrica o prismática, solicitados por cargas aplicadas sobre ellos. En la figura de la cuerda se ilustra un caso de tracción simple, ejercida por una fuerza longitudinal (*forza di chi per diritto gli tira*); en la de la viga, se ilustra una flexión causada por una fuerza transversal (*nel violentar gli per traverso*). Galileo comprobó experimentalmente que la resistencia a la tracción de hilos o cables de un mismo material es proporcional al área de su sección transversal y no depende de su longitud. Concluyó que, en el caso del esfuerzo de tracción originado solamente en el propio peso del hilo, existe para cada material una "longitud límite" o "longitud de ruptura".

rra, tal vez no se sustentase por mucho tiempo, ya que al desunirse las ligazones de los huesos, su masa se disgregaría".

Está claro que el "tamaño límite" depende de la forma o del tipo de estructura, como se verifica en las estructuras de ingeniería civil: la "luz límite" de un puente colgante es mucho mayor que la de uno en arco; la de éste, a su vez, es mayor que la de un puente del tipo de viga recta. Galileo compara la capacidad de perros y caballos para soportar cargas adicionales, porque esos animales son aproximadamente semejantes, como lo son la mayoría de los mamíferos cuadrúpedos terrestres. Los dinosaurios, por ejemplo, pudieron tener tamaños mucho mayores porque su estructura era completamente diferente. La cola y el pescuezo de estos animales, muy largos y pesados, aliviaban los esfuerzos en la parte central del cuerpo, como ocurre en los puentes del tipo *cantilever* (la estructura de los mamíferos se asemeja más a la de un puente de viga recta simplemente apoyado).

En esos pasajes de la Segunda jornada, además de demostrar que la semejanza física —y por lo tanto la capacidad de resistir cargas en relación con el peso propio— de los cuerpos sólidos de un mismo material se altera cuando se aumentan sus dimensiones manteniéndose la semejanza geométrica, Galileo indica claramente cómo podría conservarse esa semejanza: se debe aumentar la resistencia mecánica del material o disminuir su peso específico. En lenguaje moderno, esa condición correspondería al "número π", $\gamma l/s$, donde γ es el peso específico del material, l una dimensión representativa del cuerpo y s la resistencia mecánica del material. Para que ese "número π" tenga el mismo valor en un cuerpo pequeño que en uno grande, el aumento de l debe ser compensado por un aumento de s o una disminución de γ. La atribución del nombre de Galileo a ese "número π" constituye un justo homenaje al fundador de la teoría de la resistencia de materiales.

Pero Galileo fue aún más lejos. En base a la Proposición VIII introdujo en la teoría de los modelos el concepto hoy denominado "distorsión", al indicar una tercera solución para mantener en el gigante la misma resistencia relativa del hombre normal: aumentar las dimensiones transversales en mayor proporción que las longitudinales. "Para ilustrar lo que digo diseñemos un hueso cuya longitud haya sido aumentada sólo tres veces y cuyo grosor fuera aumentado en proporción tal [nueve veces] que pudiese realizar en un animal grande la misma función que correspondería a un hueso menor en un animal también menor." Y Galileo menciona entonces que Ariosto, su "poeta querido", "tal vez haya presentido esa condición" al describir la figura y el aspecto monstruoso de un gigante, como consecuencia de la deformación desproporcionada de sus huesos.

Ese tipo de distorsión no se verifica en los mamíferos terrestres contemporáneos que, desde el punto de vista geométrico, son aproximadamente semejantes. Por ello, comparados con los grandes, los animales pequeños —ratas, gatos y perros— tienen mayor capacidad para soportar cargas adicionales, en relación con su peso, así como de correr y saltar. Para los mamíferos terrestres contemporáneos, existe un "tamaño límite", próximo al del elefante. Los animales prehistóricos de estructura similar a la de los mamíferos terrestres actuales, co-

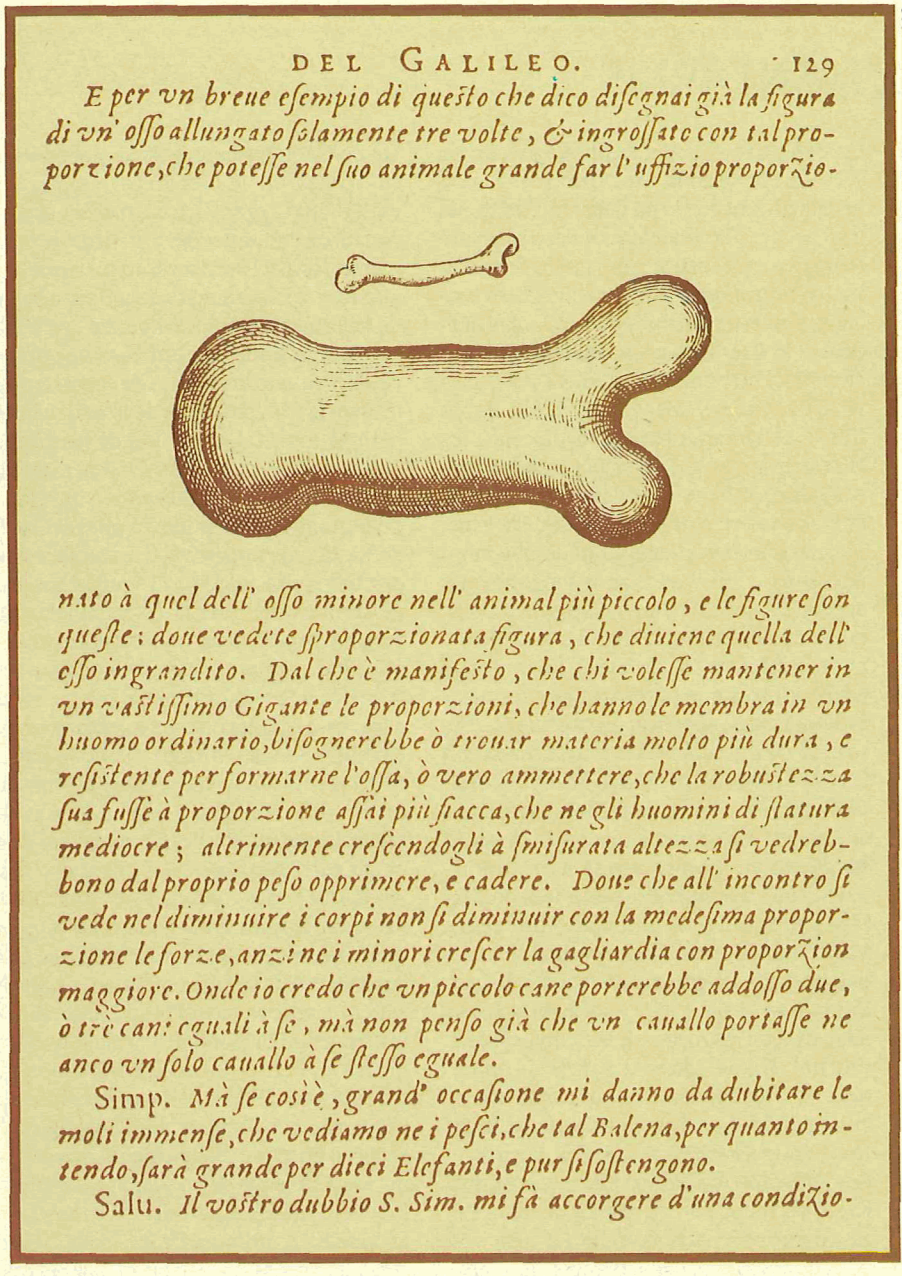
DEL GALILEO. 117

Conuiene ora che cominciamo à inuestigare secondo qual proporzione vadia crescendo il momento della propria grauità in relazione alla propria resistenza all' essere spezzato in vn Prisma, ò Cilindro, mentre stando parallelo all' Orizonte si và allungando; il qual momento trouo andar crescendo in duplicata proporzione di quella dell' allungamento, per la cui dimostrazione intendasi il Prisma, ò Cilindro A D *fitto saldamente nel muro dall' estremità* A,

e sia equidistante all' Orizonte, & il medesimo intendasi allungato fino in E *aggiugnendoui la parte* B E. *E' manifesto che l'allungamento della Leua* A B *fino in* C *cresce per se solo, cioè assolutamente preso, il momento della forza premente contro alla resistenza dello staccamento, e rottura da farsi in* A *secondo la proporzione di* C A *à* B A, *mà oltre à questo il peso aggiunto del solido* B E *al peso del*

De la edición original de los *Discorsi*, Leiden, Elzevir, 1638

La teoría de la flexión. Galileo descubrió la ley de resistencia de materiales a la tracción simple, transformándose en el precursor del concepto moderno de "tensión de ruptura". Combinando esta ley con el principio de la palanca de Arquímedes y con una hipótesis incorrecta sobre la distribución de las fuerzas internas en una sección transversal, Galileo elaboró una teoría de la flexión que, a pesar de contener una incorrección parcial, condujo a resultados correctos en lo relativo a las relaciones entre resistencia de vigas de diferentes luces y secciones transversales. Comparando vigas geométricamente semejantes, dedujo que las vigas son capaces de resistir las fuerzas aplicadas en razón del cuadrado de una dimensión lineal representativa. Como el peso propio de esas vigas es proporcional al cubo de la dimensión representativa, concluyó que, cuando las vigas son semejantes, las mayores tienen menor capacidad relativa de resistencia a cargas adicionales, además de su propio peso. Ésta es la base del célebre principio galileano de la "debilidad relativa de los gigantes".



DEL GALILEO. 129

E per vn breue eſempio di queſto che dico diſegnai già la figura di vn' oſſo allungato ſolamente tre volte, & ingroſſato con tal proportione, che poteſſe nel ſuo animale grande far l'uffizio proporzionato à quel dell' oſſo minore nell' animal più piccolo, e le figure ſon queſte: doue vedete ſproporzionata figura, che diuiene quella dell' eſſo ingrandito. Dal che è manifeſto, che chi voleſſe mantener in vn vaſtiſſimo Gigante le proporzioni, che hanno le membra in vn huomo ordinario, biſognerebbe ò trouar materia molto più dura, e reſiſtente per formarne l'oſſa, ò vero ammettere, che la robuſtezza ſua fuſſe à proporzione aſſai più fiacca, che ne gli huomini di ſtatura mediocre; altrimente creſcendogli à ſmiſurata altezza ſi vedrebbono dal proprio peſo opprimere, e cadere. Doue che all' incontro ſi vede nel diminuire i corpi non ſi diminuir con la medeſima proporzione le forze, anzi ne i minori creſcer la gagliardia con proporzion maggiore. Onde io credo che vn piccolo cane porterebbe addoſſo due, ò trè cani eguali à ſe, mà non penſo già che vn cauallo portaſſe ne anco vn ſolo cauallo à ſe ſteſſo eguale.

Simp. *Mà ſe così è, grand' occaſione mi danno da dubitare le moli immenſe, che vediamo ne i peſci, che tal Balena, per quanto intendo, ſarà grande per dieci Elefanti, e pur ſi ſoſtengono.*

Salu. *Il voſtro dubbio S. Sim. mi fà accorgere d'una condizio-*

De la edición original de los *Discorsi*, Leiden, Elzevir, 1638

La debilidad relativa de los gigantes. En este dibujo Galileo presenta "la figura de un hueso cuya longitud fue aumentada sólo tres veces y cuyo grosor fue aumentado en proporción tal [nueve veces] que pudiese realizar en un animal grande la misma función que correspondería a un hueso menor en un animal también menor". Si la semejanza geométrica se mantuviera íntegramente, la "robustez" del animal gigante —o sea, su capacidad de soportar cargas adicionales, además de su propio peso— sería proporcionalmente mucho menor que la de los animales pequeños, a menos que se encontrase "un material mucho más duro y resistente para formarle los huesos" o que "se disminuyese proporcionalmente el peso [específico] del material de los mismos huesos o el peso [específico] de todo lo que se apoya sobre los huesos".

mo los mamuts, presentaban la distorsión sugerida por Galileo para los gigantes: las dimensiones transversales de sus huesos eran proporcionalmente mucho mayores que, por ejemplo, las de los caballos actuales.

Hemos presentado aquí tres problemas para cuyo tratamiento Galileo abordó de modo absolutamente innovador la cuestión de la semejanza física y de los modelos, echando las bases de una primera teoría al respecto. Podrían citarse también otros pasajes de sus libros, como aquellos en los que enuncia las leyes de las cuerdas vibrantes. Al enfrentarse con esos problemas, Galileo se ocupó siempre de las proporciones o relaciones entre magnitudes físicas, anticipándose al desarrollo moderno de esa teoría.

Al recurrir con frecuencia a los textos de Galileo, citándolo a veces largamente, el autor de este artículo tuvo un propósito claro: colocar al lector frente a frente con su manera de pensar y proceder en el plano científico. De hecho, raramente se estudia la contribución de Galileo a través de la lectura directa de sus textos: se recurre, en general, a comentaristas que suelen distorsionar su pensamiento, interpretándolo según sus propias tendencias filosóficas o ideológicas. Algunos, por ejemplo, lo califican de "empirista" mientras otros ven en él un "platonista". En realidad no fue ni una cosa ni la otra (véase "Las imágenes fragmentarias", en la página siguiente).

El método de investigación científica de Galileo fue siempre una justa combinación de la observación y la experiencia con la matemática, instrumento de lógica deductiva. A partir de algunos hechos experimentales, se formula una primera hipótesis o teoría para interpretarlos. De esa teoría se extraen conclusiones por la vía deductiva. A continuación se somete la validez de esas conclusiones a la experimentación, que es la que tiene la última palabra. La hipótesis es sustituida o perfeccionada si los ensayos no la confirman. La fuente de la verdad es siempre, en última instancia, la experiencia. ⊙

La edición de texto de este artículo, originariamente escrito en portugués, fue realizada por los equipos técnicos de la revista Ciência Hoje. *Traducción al castellano: Ángela Saltarelli.*

LECTURAS SUGERIDAS

DRAKE, S., 1983, *Galileo*, Madrid, Alianza.

GALILEI, GALILEO, 1976, *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, Madrid, Editora Nacional. [Existe en castellano una edición anterior: *Diálogos acerca de dos nuevas ciencias*, Buenos Aires, Losada, 1945]. Además del texto original (*Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, Turín, Paolo Boringhieri, 1958) se recomienda la traducción inglesa de Stillman Drake: *Two New Sciences*, The University of Wisconsin Press, 1974.

GEYMONAT, L., 1969, *Galileo Galilei*, Barcelona, Península.

LOBO CARNEIRO, F., 1985, "Galileu, fundador da teoria dos materiais" *en História da técnica e da tecnologia* (Ruy Gama, comp.), São Paulo, T. A. Queiroz. Este texto fue publicado originariamente en 1965 en la revista francesa *Rilem, Materiaux et constructions* nº 27.

SCHMIDT-NIELSEN, K., 1984, *Scalling: why is animal size so important?,* Cambridge.

THUILLIER, P., 1983, "Galileo y la experimentación", en *Mundo Científico*, vol. 3, nº 26.

LAS IMÁGENES FRAGMENTARIAS

Con imágenes fragmentarias, con visiones cambiantes, sin tregua, los espejos de la modernidad intentan una y otra vez reconstruir el perfil de los "grandes hombres" de la historia. Pero el pasado es materia indócil, mutable, y cuando se trata de alguien de la talla de Galileo la tarea se vuelve abrumadora. ¿Quién fue en realidad Galileo? ¿Cuál fue la originalidad y el alcance de su obra? ¿Cuánto le debe la ciencia moderna y, en particular, la metodología científica? ¿En qué consistió, en definitiva, su conflicto con la autoridad eclesiástica? ¿Qué *ismo* filosófico puede con justicia reclamarlo para sí? A cada pregunta, múltiples respuestas: quizás en ello resida su grandeza histórica.

No hay por tanto un solo Galileo, hay muchos. Hubo un Galileo empirista que aún frecuenta los textos escolares y modela la interpretación más difundida: entre Aristóteles y Galileo sólo habrían existido la vaguedad de una filosofía especulativa santificada por Tomás de Aquino, las tinieblas del medioevo, los monjes ignorantes cuyo aporte intelectual no iba más allá de repetir las trivialidades del Estagirita. En el relato irrumpían de pronto los héroes del Renacimiento, armados de luces y espíritu crítico, para acabar con ese estado de cosas. En particular, al instaurar el "método experimental", Galileo habría acabado por sí solo con dos milenios de vana especulación sin control empírico. Para ello le habrían bastado unos pocos experimentos con cuerpos que oscilan, que ruedan por planos inclinados o que caen desde lo alto de una célebre torre. *Mutatis mutandis*, tal era la versión de los grandes historiadores empiristas, como se puede comprobar releyendo un influyente libro de Ernst Mach: el *Desarrollo histórico-crítico de la mecánica*, cuya primera edición data de 1883.

A principios de este siglo, y luego de un paciente estudio de manuscritos medievales, Pierre Duhem destruyó, quizás en exceso, la visión tradicional de un "vacío histórico" antes de Galileo. No sólo sugirió una continuidad entre la física medieval y renacentista; atribuyó también a ciertos eruditos del siglo XIV (Buridán, Oresme, Bradwardine, Heytesbury) el mérito de haber iniciado la revolución científica cuyas ideas centrales propiciaría luego Galileo, rescatadas por éste y difundidas como propias. ¿Fue entonces Galileo un mero sintetizador del pensamiento medieval? La polémica aún resuena. Nadie duda del valor documental de los hallazgos de Duhem y sus continuadores, pero la interpretación de la existencia de una revolución científica en el siglo XIV carece de consenso. Ignora que la especulación medieval no tiene "pretensiones de realidad" (la *verdadera* realidad es asunto teológico) y se reduce, en el mejor de los casos, a confrontar tesis antagónicas para concluir, con escepticismo, que sólo remitiéndose a la Escritura es posible decidir, por ejemplo, entre una Tierra quieta y otra móvil. Copérnico, Kepler y Galileo, por el contrario, reclamarán para la razón científica la pretensión de acceder a la verdad. Escribe Galileo: "Es evidente que esas cosas relativas a los efectos naturales, que la experiencia de nuestros sentidos pone ante nuestros ojos o bien que las demostraciones necesarias nos prueban, no deben ser puestas en duda por ningún motivo, mucho menos condenadas basándose en los textos de las Escrituras que parezcan, por las palabras utilizadas, significar algo distinto". Pero quizá la discrepancia más acentuada con la tesis de Duhem provenga de los historiadores sociales: la ciencia galileana, afirman, es el producto de una sociedad en la que la burguesía en ascenso aspira a un conocimiento útil, que engendra poder técnico. Galileo y su *nuova scienza* con pretensiones de transferencia tecnológica y social se encabalgan en el anteproyecto capitalista, inexistente en el siglo XIV, que estallará más adelante con los fuegos de la Revolución Industrial. John D. Bernal escribe sin ambages: "Los actuales intentos de exaltación de la ciencia medieval en detrimento de la del Renacimiento son especialmente necios... [los filósofos medievales] no hicieron uso de sus métodos para investigar la naturaleza y menos aún para dominarla". Lo cual no cabe afirmar de Galileo, quien no se contentó con descubrir los satélites de Júpiter y asestar con ello un golpe a la cosmología aristotélica; diseñó además, luego de registrar sus eclipses, un procedimiento para determinar la longitud en alta mar y trató, infructuosamente, de vender el *know how* al Rey de España y a los Estados Generales de Holanda.

El *boom* de un Galileo racionalista-platónico comenzó con la publicación, en 1939, de los *Estudios galileanos* de Alexandre Koyré. A la versión de un Galileo mecanicista, heredero de la ingeniería alejandrina y renacentista (Arquímedes, Leonardo, Tartaglia) que llevó a concebir al universo como una máquina y a Dios como el Supremo Ingeniero, Koyré propuso la de un adherente a la tradición neoplatónica de Giordano Bruno y Kepler. Atribuyó la insistencia de Galileo en emplear la matemática a su creencia en un mundo cifrado por Dios en caracteres geométricos, medios sin cuyo concurso "es imposible entender humanamente nada del libro de la naturaleza". Según Koyré la matemática galileana dejaría de tener el carácter instrumental que le asignan los intérpretes empiristas y se convertiría en un modo inmediato de captar *a priori* la esencia y la estructura de lo real, a la manera platónica. La mayoría de los célebres experimentos que se atribuyen a Galileo nunca habrían sido realizados o habrían sido puramente "mentales", pues el Galileo de Koyré, apriorístico y teorizante, habría prestado poca atención al control empírico de laboratorio: ante la discrepancia entre teoría y experiencia, la peor parte la lleva ésta. Para sustentar esta provocativa tesis (e irritar a los empiristas) Koyré se remite a los textos galileanos. En los *Discorsi*, por ejemplo, Salviati afirma: "El conocimiento de un solo efecto conseguido por sus causas nos abre el intelecto a entender y a estar seguros de otros efectos sin necesidad de recurrir a los experimentos". El nuevo Galileo fascinó a los historiadores, muchos de los cuales repitieron dócilmente las propuestas de Koyré, y en particular la de que Galileo habría sido incapaz de llevar a cabo sus experimentos en virtud de la limitación del instrumental disponible a principios del siglo XVII. Pero en la década del sesenta surgió una serie de historiadores-experimentadores que, provistos de relojes de agua, esferas de bronce y planos inclinados con ranuras recubiertas de pergamino, repitieron los cuestionados experimentos y mostraron lo contrario. Stillman Drake, de la Universidad de Toronto, luego de analizar manuscritos inéditos que posee la Biblioteca Nacional de Florencia, pudo reconstruir experimentos reales de Galileo hasta entonces desconocidos y comprobar que los resultados se ajustan razonablemente a los que aparecen documentados. De este modo, Drake reactualizó la imagen de un Galileo experimentador y hoy cabe afirmar que, si bien la influencia de Koyré ha servido para destruir el mito del Galileo empirista, la tesis principal de los *Estudios* ya no puede ser sostenida.

Este género de polémicas parece tener su origen en el presupuesto de que Galileo debió adherir, a manera de guía, a alguna filosofía explícita. Drake lo rechaza categóricamente: "Algunos especialistas, convencidos de que nunca puede darse una ciencia sin filosofía, han visto cómo Galileo no se

preocupó sin embargo de exponer una filosofía y han creído que la tarea de los historiadores consistía en descubrirla o en crearla para él''. Y también: ''Raro es el filósofo que no haya encontrado ayuda y consuelo en los escritos de Galileo. Resulta muy fácil emparentar la ciencia galileana con una u otra filosofía, pero lo cierto es que no merece demasiado la pena''. Einstein debió pensar algo semejante cuando escribió que, ante los ojos del epistemólogo sistemático, el científico se aparece como un ''oportunista poco escrupuloso''. Quizá por ello existe otro Galileo, el de los físicos o los ingenieros, que éstos leen por placer, sin desvelos filosóficos, o acaso para encontrar en las páginas de los *Diálogos* o los *Discorsi* la ecología histórica de su profesión. Citado de memoria, el físico Richard Feynman explicaba el punto a su modo: ''Cuando expongo las ideas y los experimentos de Galileo me siento absolutamente moderno. Cuando lo leo, sé que estoy dialogando con uno de los míos: me siento en mi propia casa''. Difícilmente Feynman podría haber afirmado lo mismo a propósito de Copérnico o Kepler. Tampoco faltan los que leen a Galileo con una finalidad educativa, pues Salviati, Sagredo y Simplicio suelen presentar sus puntos de vista con mayor claridad y brillantez que la mayoría de quienes hoy hacen lo propio desde el libro de texto.

Reflexiones como la de Stillman Drake, antes mencionadas, arrojan cierta luz sobre las relaciones entre Galileo y el ''método experimental''. El análisis de sus procedimientos metodológicos no revela un patrón constante: a veces razona ''a la Aristóteles'', en la más pura tradición del método demostrativo y su confianza en la existencia de ''principios evidentes''; otras lo hace claramente al modo hipotético-deductivo, y el énfasis recae en la contrastación experimental. ¿Se trata de una contradicción? Como señala uno de sus biógrafos más autorizados, Ludovico Geymonat, lo sería si estuviésemos en presencia de un filósofo en busca de un *sistema*, pero en cambio revelaría una expresión de consciente madurez metodológica, puesto que la ''cuestión del método'' no sólo no ha sido resuelta en la actualidad sino que origina nuevas y furiosas polémicas. La observación de Geymonat está avalada por la negativa explícita de Galileo a escribir un ''tratado metodológico'', como lo hicieron Bacon y Descartes. Sea como fuere, Galileo sigue brindando ''ayuda y consuelo'' a cuanto epistemólogo moderno salga al ruedo a librar batalla, como lo comprueba cualquier lector de *Conjeturas y refutaciones*, *La estructura de las revoluciones científicas* o *Contra el método*.

¿Y qué decir del hombre público, político, polemista e intelectual que se atrevió a enfrentar al poder eclesiástico con la convicción de que un buen argumento es capaz de persuadir a quienes sostienen lo contrario, así se trate del mismísimo Papa? También aquí las imágenes han cambiado. Hubo un Galileo iconoclasta e iluminista, castigado por el oscurantismo eclesial. Pero el nuevo Galileo es un honesto creyente que siempre consideró estar prestando un servicio a su Iglesia al reclamar autonomía para la investigación científica. En la *Carta a la Gran Duquesa Cristina de Lorena*, Galileo explica a los teólogos que es posible conciliar el dogma con la ciencia, pues el científico que renuncia al lenguaje bíblico, destinado al ''vulgo iletrado'', no renuncia a la Biblia ni a su autoridad: se limita a traducir la verdad revelada al lenguaje matemático en el que Dios escribió el ''libro de la naturaleza''. Esta tesis del ''doble lenguaje'' resulta hoy familiar, porque desde fines del siglo XIX es avalada (Darwin mediante) por la Iglesia Católica, pero en 1616 significó un portazo brutal en las narices de Galileo y en 1633 su condena y humillación. En apoyo de la imagen del ''buen católico al servicio de su Iglesia'' pueden citarse fragmentos como éste: ''Cuando Fromondo u otros hayan proclamado que decir que la Tierra se mueve es herejía, si las demostraciones, las observaciones y las necesarias verificaciones demuestran que se mueve, ¿en qué dificultad se habrán puesto a sí mismos y habrán colocado a la Santa Iglesia?'' (carta de 1633). Se trata de la misma tesis que hoy sostiene Juan Pablo II cuando, al intentar la recuperación plena de Galileo para el catolicismo, le concede el mérito de haber formulado ''normas importantes de carácter epistemológico que resultan indispensables para poner de acuerdo la Sagrada Escritura y la ciencia'' a la vez que justifica el proceder de la Iglesia del cardenal Bellarmino y Urbano VIII por una ''lectura de la Biblia culturalmente influida''. Conviene señalar, sin embargo, que en la abjuración de Galileo hay ciertas palabras que *todos* los Galileos debieron pronunciar (*yo, arrodillado, juro que creo, y abjuro, y aborrezco mis errores, y me someto al castigo*) y que el sentido del texto, aterradoramente moderno, nos recuerda que hay, o puede haber, un Galileo en cada uno de nosotros.

¿Qué hacer con Galileo? ¿Cómo atraparlo? Porque hay muchos otros: el crítico musical, digno hijo de un teórico a la vez discípulo y adversario de Zarlino; el crítico literario autor de *Postille all'Ariosto*, *Considerazioni sul Tasso* y las *Lezioni circa la figura, sito e grandezza dell'Inferno di Dante*, en las que desarrolla la topografía del Infierno a partir de argumentos literarios y geométricos; el poeta satírico que ridiculiza el uso doctoral de la toga; el autor de poemas intimistas de suprema belleza; el creador de la moderna literatura polémica; el mayor escritor italiano de su época. ¿Qué hacer con Galileo? ¿Cómo abarcar su incesante presencia, su vigencia, su protagonismo, su contradicción permanente? Pierre Thuillier lo ha llamado ''una de las principales figuras del panteón de Occidente'', pero allí sólo habitan los muertos y el hombre está más vivo que nunca. Ningún seminario, estudio o debate de corte académico, ningún andamiaje teórico parece estar destinado a apresarlo sino, más bien, por el contrario, a engendrar más páginas de un libro infinito y acumular nuevas imágenes fragmentarias de un Galileo que se niega a convertirse en bronce y en olvido. Pues de aquél que fuera a la vez hombre y obra, el único, el que sigue con nosotros, sólo cabe hablar en un lenguaje: el de la pasión. No hacerlo así sería indigno.

Guillermo Boido
Departamento de Física
Universidad Nacional de La Plata

Peint par Pallière

GAUCHOS CARNEANDO

(República Argentina.)

En los últimos cinco años, la historia rural del Río de la Plata colonial tardío ha sido objeto de una serie de investigaciones que han contribuido a renovar considerablemente la imagen que se tenía de la campaña. En efecto, en cada reunión de historiadores, en cada congreso, se presentan ponencias sobre este tema —generando a veces ardorosos debates—, y ya aparecen las primeras publicaciones que reflejan esta inquietud.

Una diferencia clara entre estos nuevos trabajos y —salvo escasas excepciones— lo realizado anteriormente, estriba en que ahora se empieza a explotar una serie de fuentes coloniales, que permiten medir los problemas aunque más no sea aproximadamente. Por primera vez (salvo un pionero trabajo de T. Halperín Donghi publicado en 1975), se analizan contabilidades de estancias, se utilizan sistemáticamente las fuentes de recaudación tributaria, se estudian los padrones de población.

Esta renovación en las fuentes es el producto tanto de un nuevo punto de vista en las problemáticas que se plantean en los historiadores como del aprovechamiento de la historiografía sobre temas similares para otras latitudes, en particular los enormes esfuerzos realizados desde hace varios decenios por los historiadores mexicanistas, quienes cuentan en su haber con varias decenas de buenos libros y artículos, los cuales analizan los más diversos problemas sobre la historia rural del México colonial y del temprano siglo XIX. El carácter de los problemas planteados y de las fuentes autorizadas ha contribuido a que estos nuevos trabajos sobre el Río de la Plata necesariamente acoten su temática: analizan a veces el funcionamiento de una explotación agraria, las condiciones de producción de un producto, o algún tema particular como el de la mano de obra de las grandes estancias.

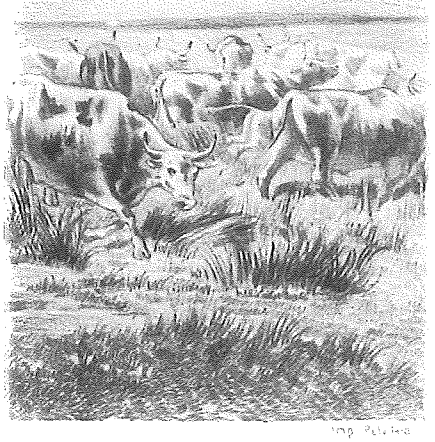
A continuación se intentará hacer un primer —y muy breve— balance de estas investigaciones puntuales, tratando, por un lado, de evaluar sus resultados más generales, y, por el otro, de plantear algunas hipótesis e interrogantes que surgen de ellas.

NUEVAS IMÁGENES DE UN MUNDO RURAL

la campaña rioplatense antes de 1810

Jorge Gelman

Instituto de Historia Argentina y Americana
"Emilio Ravignani"
Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires



Juan León Pallière, "Gauchos carneando"; foto: Eduardo Arrosi

La imagen tradicional del mundo rural rioplatense antes de 1810 nos muestra una campaña sin agricultura y con abundancia de ganado vacuno monopolizado por estancieros feudales. Pero estudios muy recientes revelan la inexactitud de este cuadro. Obligan, además, a replantearse la historia económica, social y política de la primera mitad del siglo XIX en el ámbito del Río de la Plata.

Lo cierto es que la imagen que en la actualidad aparece de la campaña del Río de la Plata a fines de la época colonial es mucho más compleja de lo que se suponía hasta hace muy poco, y, en algunos casos, es la imagen invertida de la tradicional. Esta última —que hoy parece el producto de la extrapolación de un probable siglo XIX— mostraba una campaña rebosante de vacas, donde casi no existía otro ganado y, sobre todo, nada de agricultura. La población de la campaña, y aun de la ciudad de Buenos Aires, casi no consumía pan ni legumbres. El ganado vacuno se encontraba monopolizado por las grandes estancias, cuyos patrones eran casi señores feudales, más preocupados por el prestigio social que por la rentabilidad de sus explotaciones. El trabajo en las estancias era realizado por escasos peones, muy ariscos, que se resistían a ingresar bajo la disciplina del estanciero, porque tenían otras opciones, las cuales habrían dado lugar al surgimiento de un personaje famoso, casi mítico, el gaucho rioplatense, que prefería vagar por la pampa porque podía matar una vaca cuando se le ocurriera y saciar así sus necesidades de alimento y aun de vestimenta; además podía escaparse a territorio indio, comerciar clandestinamente algunos productos provenientes de sus faenas (no muy legales) y sólo eventualmente conchabarse en una estancia para satisfacer sus necesidades de aguardiante, tabaco y yerba, que compraba en una pulpería ni bien cobraba su primer salario.

¿Qué se sabe hoy sobre todo lo anterior? Consideremos en primer lugar el tema de la producción. Por supuesto que había vacas en la campaña rioplatense colonial, pero por lo que surge de las cifras que se pueden observar en el Cuadro I (algunos datos básicos de la campaña bonaerense a fines del siglo XVIII), se está muy lejos de las decenas de millones de animales que, como describían algunos imaginativos viajeros de la época, casi impedían el desembarco en la costa de Buenos Aires debido a lo compacto de la masa que formaban. La cifra de un millón/un millón y medio de vacunos es, desde luego, una aproximación, pero está

Cuadro I. Algunos datos básicos de la campaña bonaerense a fines del siglo XVIII

Población: 1778: 12.000 hab. 1810: 34.000 hab.
Exportación de cueros por B.A. (mejor trienio: 1791-93): 390.000 por año.
Stock vacuno: 1.000.000 a 1.500.000 de cabezas*
Producción de trigo (años buenos): 100.000 fanegas locales
Demanda de trabajadores para cuidar 10.000 vacunos (según Félix de Azara): 11
Demanda de trabajadores para cuidar 10.000 vacunos (según estancia de "Las Vacas"): 23
Demanda global de trabajadores para el stock vacuno de B.A. (según Azara [A] y según "Las Vacas" [B]: 1.100 a 1.650 [A]* 2.300 a 3.450 [B]*
Demanda global de trabajadores para el cultivo del trigo: enero-febrero: 12.000* mayo-julio: 4-5.000* resto del año: 1.000*
(cosecha-trilla) (arado-siembra)

* Aproximaciones efectuadas sobre la base de algunos datos.
Fuente: bibliografía citada en este artículo.

sustentada en diversos cálculos, ya sea sobre la tierra efectivamente ocupada a fines de la época colonial y su capacidad de recepción de animales, ya sea partiendo de las cifras —hoy bastante certeras— de exportaciones de cueros y del *stock* de animales necesario para soportar ese ritmo de extracción de pieles. Estos vacunos eran faenados para extraerles el cuero, el sebo y la grasa que podían ser exportados por el Atlántico, pero también para el abasto de carne a la ciudad de Buenos Aires.

Sin embargo, la monoproducción del vacuno no parece característico de los rioplatenses en este período. Al lado de aquél había siempre otro ganado: caballos, yeguas y burros para la cría de mulas, lanares. Y esto es verdad tanto si se analiza la región en su conjunto como si se estudian sólo las grandes estancias, donde siempre aparecen estos distintos tipos de ganado. Por supuesto: había diferencias regionales, vinculadas esencialmente con la proximidad de los mercados a donde se destinaban los derivados de los diversos ganados, con el tipo de ocupación del suelo, etc. (por ejemplo, en la zona norte de la campaña de Buenos Aires habría más cría de mulas destinadas a los mercados norteños, y en la Banda Oriental más vacunos aplicados a la extracción de cueros para el comercio atlántico). Pero, a pesar de esta desigual distribución, en todas las regiones se combinaban los distintos ganados.

No obstante, lo más novedoso que surge de los recientes aportes de los historiadores en cuanto a la producción rioplatense del período colonial tardío es la importancia incuestionable de la *producción agrícola*, y en particular del *trigo*. El primer llamado de atención serio sobre este fenómeno provino de un estudio de J. C. Garavaglia sobre la percepción del diezmo (impuesto equivalente a la décima parte de la producción agropecuaria, destinado al mantenimiento de la Iglesia en América), que mostraba que el diezmo sobre los cereales era superior en valores al que se aplicaba sobre el ganado. Si bien la forma de percepción del impuesto impide que se le asigne a este indicador un valor absoluto, hoy se sabe que la producción de trigo en la campaña bonaerense, a fines de la época colonial, se aproximaba en los años buenos a las 100.000 fanegas locales, cifra que, multiplicada por el precio de este producto en años de producción abundante —es decir, cuando el precio era bajo— es comparable al valor del promedio anual de cueros exportados desde Buenos Aires en la misma época. Claro está que no sólo se producía trigo en la campaña rioplatense; también había *maíz, cebada* y, lo que es más llamativo, una importante *producción hortícola*, sobre todo en las cercanías de las grandes ciudades como Buenos Aires y Montevideo.

El segundo aspecto en el que la imagen tradicional de la campaña rioplatense aparece casi invertida se refiere a los tipos de explotaciones en donde se producían estos múltiples productos agropecuarios. Es cierto que existían grandes estancias, incluso muy extensas, pero eran las menos. Por un lado, estaban las más grandes —sobre todo en la Banda Oriental— pertenecientes, en general, a importantes comerciantes de Buenos Aires o de Montevideo. Sin embargo ellas más que estancias eran campos de faenamiento, como los llamó el historiador uruguayo Pivel Devoto. Allí casi no había instalaciones ni mano de obra permanente, sino que, en determinadas épocas del año, se enviaba una partida de peones para faenar el ganado alzado que circulaba libremente en el interior de esos enormes territorios con rinconadas y límites naturales que impedían que el ganado se escapara. Por el otro lado, existían también grandes estancias en donde se organizaba realmente la producción, con ganado de rodeo, con mano de obra permanente, con instalaciones, corrales. Éstas, por supuesto, ocupaban las mejores tierras, tanto por su calidad como por su ubicación con relación a los mercados.

Pero lo que las investigaciones recientes tienden a señalar es que, en realidad, estas grandes explotaciones eran apenas islotes —aunque es verdad que en esto hay agudas diferencias regionales— en medio de mares campesinos. El campesinado y la producción campesina aparecen como una realidad incontrastable en la campaña rioplatense colonial. Prácticamente en toda la campaña vivía infinidad de pequeños productores —en general no propietarios de las tierras que trabajaban— que tenían casi siempre algunos animales: vacas, caballos, yeguas, burros, bueyes, ovejas, vacas lecheras más comúnmente de los que se pudiera imaginar y, además, aves, y que cultivaban una pequeña parcela con algo de trigo y eventualmente algo más.

Aún es muy poco lo que se sabe sobre estos campesinos, pero sin duda había diversos tipos. Primero, aquellos en mejor posición, que podían contratar mano de obra estacional para complementar el trabajo de la familia en los momentos de mayor labor. Pero las categorías más numerosas estaban constituidas por dos clases de campesinos que aparecen claramente diferenciados en los padrones coloniales: por un lado, los que se podrían llamar "campesinos-autosuficientes", en el sentido de que la producción de sus parcelas les permitía subsistir (aunque pasaran por el mercado para lograr este objetivo) y, por el otro lado, los "campesinos-peones", que si bien también poseían algo de ganado y podían cultivar una pequeña parcela, debían combinar esta actividad con el conchabo del jefe de familia (y eventualmente algún hijo mayor) en una estancia, a fin de completar los magros ingresos propios. Obviamente, el pasaje de una a otra categoría debió de haber sido muy fluido, según la buena o mala cosecha, la coyuntura de precios y salarios y el balance entre bocas que alimentar y brazos para trabajar en el seno de cada familia.

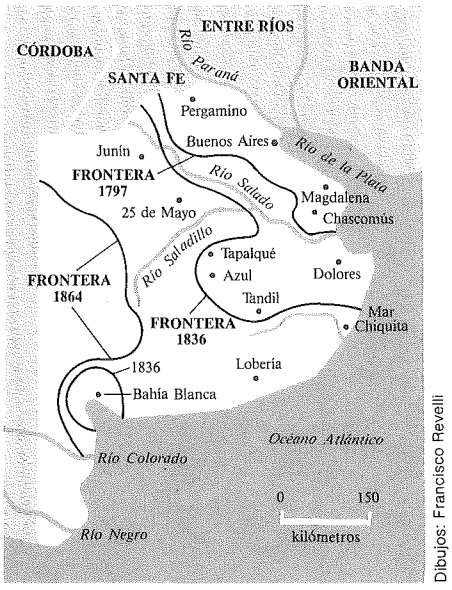
Ahora bien, la pregunta se impone: ¿cómo se distribuía la producción entre estos campesinos y los grandes estancieros? Aunque todavía es necesario investigar más para estudiar muchas regiones y diversos períodos, lo que se sabe hasta ahora muestra

importantes diferencias según el producto que se analice. Si bien casi todas las familias rurales y casi todas las estancias criaban diversos tipos de ganado y cultivaban además cereales, el grado de concentración de unos y otros productos es diferente. Así, el ganado vacuno parece estar en su mayor parte concentrado en las grandes explotaciones, mientras que los otros tipos de ganado se encuentran mucho más dispersos en pequeñas manadas.

Por el otro lado, el trigo —el producto agrícola más importante de la campaña rioplatense en el período colonial tardío— presenta una característica totalmente opuesta a la del vacuno. Si bien muchas grandes estancias lo cultivaban, predominaba la pequeña y la muy pequeña explotación familiar, como se observa en el Cuadro II (distribución de la producción en Colonia y San Pedro). Se ha podido analizar que este cultivo era altamente riesgoso para la chacra cuyos costos eran esencialmente mercantiles, como en el caso de las grandes explotaciones que, por lo tanto, no tenían interés en expandirlo a costa de la cría de ganado o de mayores inversiones. Por el contrario, este cultivo resultaba casi siempre ventajoso para el campesino, cuya inversión era sólo el trabajo de su familia, la cual carecía de alternativas laborales asalariadas en la campaña rioplatense.

Como se advierte por todo lo expuesto, antes de la Independencia, la campaña rioplatense distaba mucho de la imagen que se tenía hasta hace muy poco de ella y, sobre todo, parece también muy lejana del modelo estanciero-monoproductor-vacuno que aparentemente se consolida en la primera mitad del siglo XIX.

Ahora bien, ¿cómo explicar esta sociedad campesina colonial y cómo se articulaba ella con las grandes estancias que ya existían? En primer lugar, la demanda de productos ganaderos no era aún muy amplia y, en consecuencia, tampoco había un proceso de expansión sostenido de las grandes estancias ganaderas. El mercado interno tenía los límites de la población de Buenos Aires —esencialmente para el consumo de carne— y el Alto Perú —para el envío de ganado en pie (sobre todo mulas)—; pero Buenos Aires debía competir con regiones productoras como Santa Fe y Córdoba. En cuanto al mercado externo—a donde se enviaban sobre todo cueros y, en mucha menor medida, otros subproductos del vacuno—, si bien existía un crecimiento hacia fines del siglo, aún se distaba de la expansión de la primera mitad del siglo XIX, amén de las múltiples guerras que interrumpían el tráfico durante períodos más o menos prolongados. Además, para el suministro de cueros quedaba todavía la posibilidad de recurrir al faenamiento de ganado alzado en la Banda Oriental, recurso que se agotará en el siguiente siglo.



Dibujos: Francisco Revelli

La expansión de la frontera de Buenos Aires durante el período 1797-1864.
(*Fuente*: Brown, J., *A Socioeconomic History of Argentina, 1776-1860*, Cambridge, 1979.)

Si esto ocurría con el ganado vacuno, la situación era más sencilla con respecto al trigo ya que, como se ha afirmado más arriba, los riesgos para su producción en manos de una empresa con costos mercantiles no justificaban su expansión tras límites muy modestos. La expansión territorial hacia la frontera era todavía un pálido anuncio de lo que sucedería en los decenios siguientes a la Independencia. La ocupación de la tierra a fines de la época colonial implicaba unos tres millones de hectáreas, cifra que se multiplicaría varias veces en los 60 años siguientes a la Independencia (véase el mapa). Pero, además, dentro mismo de las fronteras bajo dominio español existían grandes espacios vacíos, constituidos por las considerables porciones de terrenos del rey a ambas márgenes del Plata y aun dentro de los territorios denunciados o comprados. Al respecto, es significativo el bajísimo valor de las tierras de estancias, dentro del conjunto del valor de inventario de éstas. En el Río de la Plata de fines del siglo XVIII se podía observar una oferta casi ilimitada de tierras fértiles y, al mismo tiempo, una ausencia de presión importante de los grandes estancieros por conseguir mucha mano de obra. Como se puede observar en el Cuadro I, el cálculo de demanda laboral global para la producción ganadera era reducido con relación a la población. Suponiendo que las estancias controlaran un millón de vacunos, hubieran bastado entre 1.100 a 2.300

Cuadro II. Distribución de la producción triguera en el Río de la Plata en el período colonial tardío: dos ejemplos.

San Pedro, 1796*

cantidad cosechada (en fanegas locales)	cantidad labradores	% labradores	% trigo
300	1	1,78	12,31
100 a 300	3	5,35	13,95
50 a 100	13	23,2	33,62
10 a 50	38	67,85	39,77
menos de 10	1	1,78	0,32

total cosechado: 2.436; total labradores: 56
promedio cosechado por labrador: 43,5.

Colonia, 1795 ó 96**

cantidad cosechada (en fanegas locales)	cantidad labradores	% labradores	% trigo
más de 61	8	14,3	34,8
41 a 60	10	17,8	27,3
21 a 40	13	23,2	21,1
11 a 20	16	28,5	13,5
1 a 10	9	16,1	3,2

total cosechado: 1.910,5; total labradores: 56
promedio cosechado por labrador: 34,1.

* Fuente: Roberto Di Stéfano, "Producción de trigo y sociedad colonial: los labradores de San Pedro a fines del siglo XVIII", mimeo, 1988.
** Fuente: Gelman, J., "Una región y una chacra en la campaña rioplatense: las condiciones de la producción triguera a fines de la época colonial", *Desarrollo Económico*, vol. 25, nº 112, 1989, pp. 577-600.

Juan León Pallière, "La pulpería"; foto: Eduardo Arrosi

peones para realizar la tarea; y a fines del siglo XVIII la población rural bonaerense rondaba los 20.000 habitantes.

Por otra parte, es fundamental señalar que, en la época colonial, la élite de Buenos Aires extraía lo esencial de sus ganancias *no* de la explotación de la campaña circundante, sino de la articulación comercial de todo el amplio espacio virreinal con el Atlántico. Para dar un solo ejemplo, entre 1779 y 1784 sólo el 14,6% del valor de las exportaciones de Buenos Aires por el Atlántico estaba integrada por cuero y otros productos de origen agropecuario, mientras que más del 82% estaba constituida por metálico, obtenido por los grandes comerciantes de Buenos Aires a lo largo del Virreinato y originado en las minas peruanas y altoperuanas. Por el contrario, ya en los años '20 del siglo XIX sólo los cueros vacunos representaban más del 65% del valor total exportado por el puerto. En la época colonial, los grandes comerciantes y no una supuesta clase prematura de estancieros eran quienes controlaban el aparato estatal regional y, por lo tanto, los estancieros —por lo menos aquellos que no son parte de la élite comercial— no tenían aún, como lo tendrían en el siglo XIX, las herramientas del poder para imponer a rajatabla sus intereses. Es llamativo ver expedientes de la administración colonial donde, a veces, se falla a favor de pueblos campesinos en contra de estancieros.

De todo lo expuesto se advierte la existencia de abundante tierra gratis o muy barata (por supuesto, las mejores estaban en manos de los estancieros) y poca presión de éstos por lograr mano de obra, condiciones que permitieron el desarrollo de un campesinado numeroso en la región. Esta universalización de la condición de campesino tenía, además, una lógica económica antes mencionada. Instalarse en una tierra —aunque fuera como agregado en una estancia— permitía valorizar el trabajo de la familia, de la mujer y los hijos pequeños, quienes carecían de costo de oportunidad, por la razón ya señalada de que la demanda de trabajo rural asalariado en el Río de la Plata no incluía a estos sectores de la población. Por más bajo que fuera el rendimienito del trabajo de la mujer y de los hijos de la familia campesina —y sin duda era más bajo que el rendimiento del trabajo en una gran estancia— siempre era un *plus* que la familia podía incorporar a sus ingresos. Además, existe un elemento importante que hay que téner en cuenta y que permite la comprensión parcial de la articulación entre campesino y estanciero: poseer una parcela donde se cultivaba algo de trigo era compatible con el conchabo del jefe de familia en una estancia durante la mayor parte del año. Como se puede observar en las figuras 1 y 2, los ciclos laborales de la ganadería y del trigo eran casi exactamente opuestos. De hecho, se podía cultivar una pequeña parcela con trigo, el que requería poco trabajo en los meses centrales del año para el arado y la siembra; luego, casi todo el año la parcela podía quedar al cuidado de la mujer y/o los hijos del campesino y sólo había un momento en el año (uno o dos meses en enero y febrero) donde ineludiblemente el hombre debía volver a su tierra para la cosecha y trillado del cereal. Es cierto que la merma en la actividad de la estancia ganadera en enero y febrero era en gran parte producto

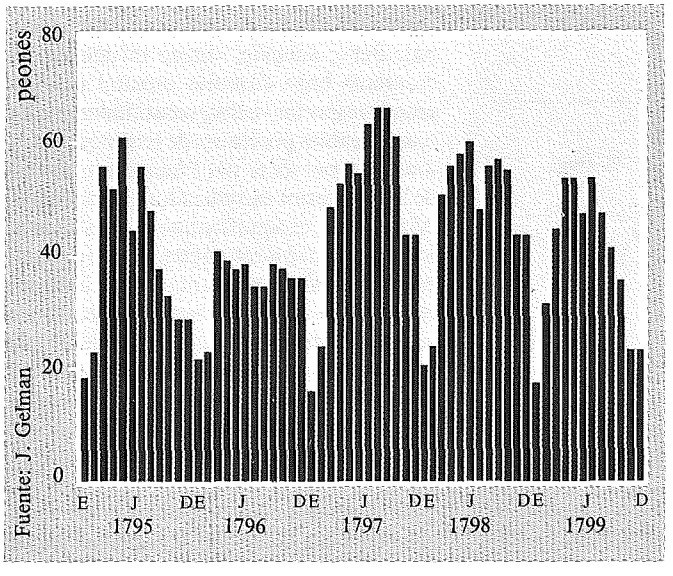


Fig. 1. Peones en una estancia, 1795-1799.

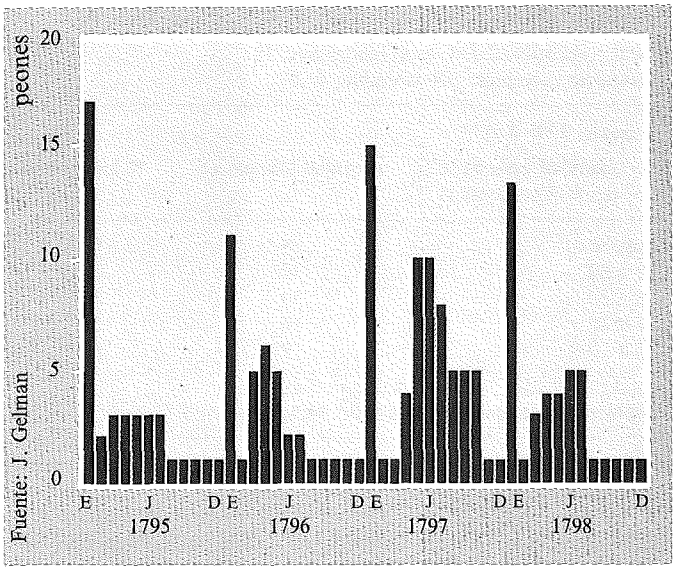
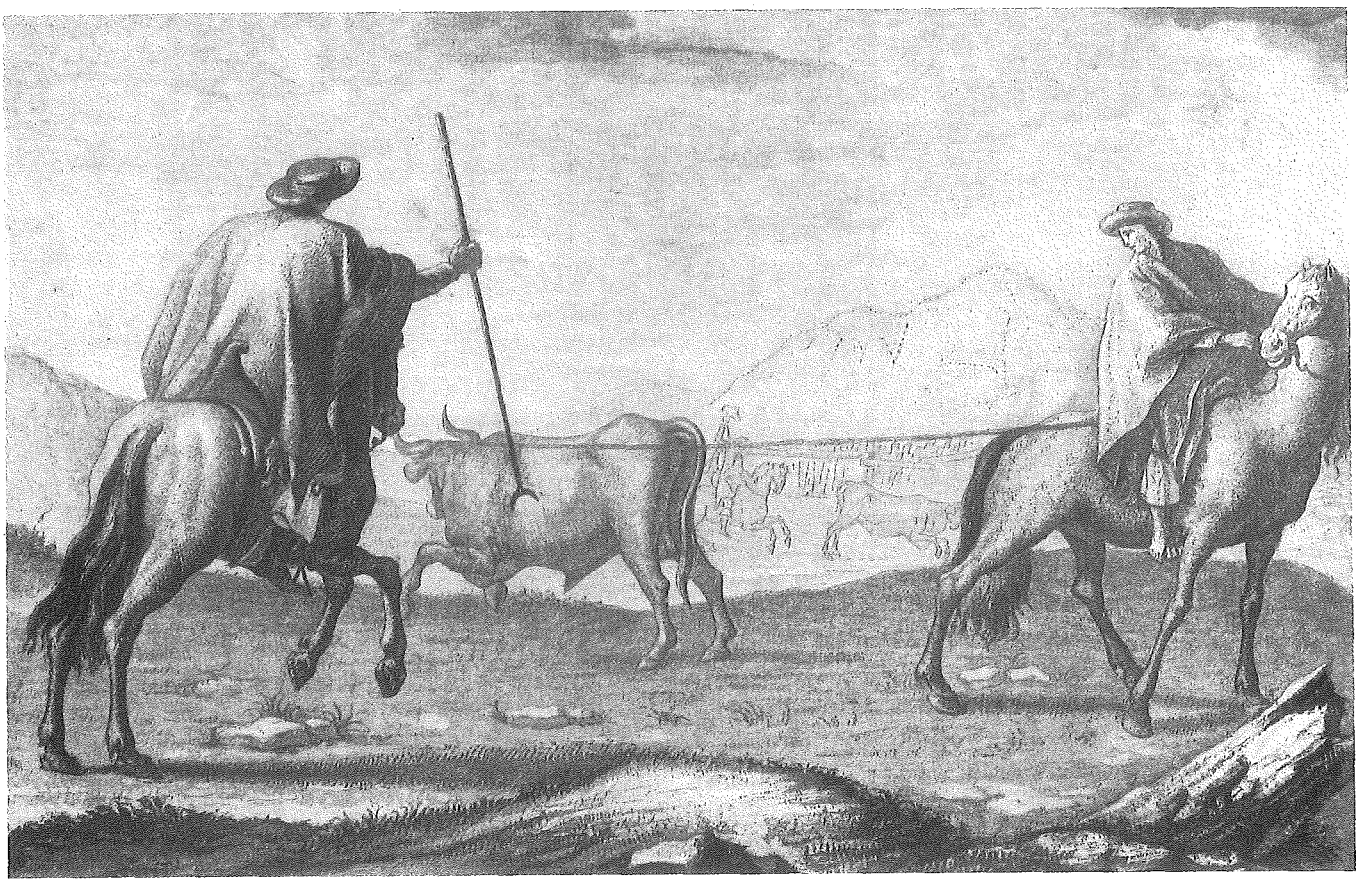


Fig. 2. Peones de una chacra de trigo, 1795-1798.



Fernando Brambilla, "Modo de enlazar el ganado"; foto: Eduardo Arrosi

de la escasez de mano de obra en esos meses, ya que en esa época casi toda la población rural estaba dedicada a la cosecha del trigo (véase el Cuadro II), pero también es verdad que en esos meses de verano las faenas ganaderas estaban limitadas por razones propias.

En síntesis, a pesar de esta "universalización" de la condición de campesino, las grandes estancias no parecían tener mayores problemas para conseguir mano de obra. Por un lado, el mínimo de trabajo permanente a lo largo del año lo abastecían ya fuera con esclavos —hoy sabemos que casi todas los tenían— o con algunos peones no campesinos, constituidos esencialmente por migrantes que llegaban al Río de la Plata desde el Tucumán, Cuyo, Paraguay, etc. Por el otro lado, las faenas estacionales —las más— eran realizadas también por trabajadores estacionales, que en realidad eran básicamente estos campesinos-peones antes mencionados, como así también por migrantes. Las estancias sólo tenían un problema serio de escasez de trabajo en los meses de enero y febrero, cuando, de todos modos, las faenas ganaderas mermaban, o bien en situaciones coyunturales específicas, como podía ser un reclutamiento más o menos masivo de milicianos rurales, en época de guerra.

Lo anterior no significa que la situación de la campaña rioplatense a fines de la época colonial fuera idílica y pacífica, pero sí que existía una articulación entre grandes y pequeños productores que, aunque conflictiva, parece muy distante de lo que sucederá después de la Independencia.

Todas estas nuevas aproximaciones a la historia rural rioplatense colonial obligan a replantearse la historia económica, social y política de la primera mitad del siglo XIX. La expansión de la campaña bonaerense al calor de la demanda creciente y sostenida del mercado mundial y la consolidación de la gran estancia vacuna como productor dominante en la misma no se hizo, como se pensaba, sólo sobre un espacio vacío y simplemente afianzando algo ya existente en la época colonial. Este nuevo modelo parece radicalmente diferente del colonial y debe de haber implicado una serie de conflictos agudos entre la nueva élite ganadera y esa masa de pequeños campesinos. El conflicto se debe de haber agudizado no sólo por la creciente valorización de la tierra, la redoblada demanda de trabajo que requerían las estancias en crecimiento, sino, además, por las situaciones de guerra (de Independencia y civiles) que caracterizaron a los primeros decenios independientes, y que forzaron el reclutamiento de sucesivas oleadas de población rural agudizando la escasez de mano de obra. ⊙

LECTURAS SUGERIDAS

AMARAL, S., 1987, "Rural Production and Labor in Late Colonial Buenos Aires", *Journal of Latin American Studies*, 19, págs. 235-278.

GARAVAGLIA, J. C., 1987, *Economía, sociedad y regiones*, Ed. de la Flor, Buenos Aires.

GARAVAGLIA, J. C., 1989, "Ecosistemas y tecnología agraria: elementos para una historia social de los ecosistemas agrarios rioplatenses (1700-1830)", *Desarrollo Económico*, vol. 28, nº 112, págs. 549-575.

GELMAN, J., 1989, "Una región y una chacra en la campaña rioplatense: las condiciones de la producción triguera a fines de la época colonial", *Desarrollo Económico*, vol. 28, nº 112, págs. 577-600.

GELMAN, J., 1989, "New Perspectives on an Old Problem and the Same Source: The Gaucho and the Rural History of the Colonial Rio de la Plata", en prensa en *Hispanic American Historical Review*.

HALPERÍN DONGHI, T., 1969, "La expansión ganadera en la campaña de Buenos Aires, 1810-1852", en T. Di Tella y T. Halperín Donghi (eds.), *Los fragmentos del poder*, Ed. Jorge Alvarez, Buenos Aires, págs. 21-73.

MAYO, C., 1984, "Estancia y peonaje en la región pampeana en la segunda mitad del siglo XVIII", *Desarrollo Económico*, 92, págs. 609-616.

MAYO, C. y FERNANDEZ, A., 1988, "Anatomía de la estancia colonial bonaerense (1750-1810)", mimeo.

MODELOS HÍDRICOS Y REALIDAD

Pablo M. Jacovkis
Instituto de Cálculo
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires

Modelizar matemáticamente sistemas hídricos consiste en encontrar las relaciones entre ciertos parámetros: altura de presas, capacidades de embalse, potencias instaladas en centrales hidroeléctricas, dotaciones de riego a garantizar. En una cuenca fluvial formada por ríos con afluentes y efluentes, una vez planteado el modelo hay que utilizar técnicas matemáticas para saber qué valores de esas variables harán que el beneficio sea máximo. Naturalmente, hay que tener en cuenta muchos condicionamientos: económicos, financieros, geográficos e incluso políticos. Los problemas matemáticos originados adquieren por ello un alto grado de complejidad.

Gentileza: Yacyretá-Apipé

Supongamos que se desea construir una única represa con central hidroeléctrica en un punto determinado sobre un río. La energía anual producida no podrá ser mayor que la que se produciría si la central hidroeléctrica funcionara continuamente durante todo el año al máximo de su capacidad, dada por el producto de la potencia instalada por el número de horas del año Δt, o sea

$$\text{Energía} \leq \Delta t.\ \text{Potencia}$$

La desigualdad en esta relación se debe a que no siempre se produce toda la energía técnicamente posible, como bien sabemos desde la instauración de los cortes de luz: hay otra restricción, y ya no es técnica sino hidráulica, y es que la máxima energía que se puede producir es directamente proporcional a la diferencia ΔS de las alturas delante y detrás de la represa, como se observa en la figura 1, y al caudal turbinado. El caudal turbinado es el que pasa por las turbinas y se usa efectivamente para la generación de electricidad. Este, a su vez, puede no ser todo el caudal que pasa por la represa si excede, por ejemplo, la capacidad de la central. La fórmula será entonces

$$\text{Energía} \leq \mu.\ \Delta t.\ \text{Caudal}.\ \Delta S$$

donde el símbolo μ indica una constante de proporcionalidad.

Consideremos ahora a la represa y a la central hidroeléctrica en términos de inversión; en este caso (es decir si se espera obtener beneficios de ella por venta de energía durante una determinada cantidad de años) debemos preguntarnos cuál será la mejor inversión. A una determinada inversión está asociado un diseño de la represa que permite producir al máximo una determinada energía anual, suponiendo que se conoce el caudal medio que fluye anualmente a través de la represa y que éste es razonablemente constante a lo largo de los años. Habrá un costo de instalación de potencia C_P, que depende de la potencia instalada, y un costo de construcción de la presa C_C que depende de su altura. A este diseño, siempre suponiendo caudales medios anuales constantes, corresponde un ingreso anual por venta de energía. Si suponemos que se fija un precio único y constante por kilowatt de energía producido, el ingreso anual será entonces el precio multiplicado por la energía generada.

Por lo tanto, el beneficio B está dado por una suma de términos que corresponden a los ingresos obtenidos en cada uno de los años de producción a la cual se le restan los términos que indican los costos de construcción para cada año.

La tasa de descuento para actualizar el valor del dinero futuro la fijan los economistas, y en general conviene hacer cálculos con más de una tasa posible, e incluso con tasas variables anualmente. Como cuanto mayor es la obra, mayores son los ingresos que se recibirán, pero también mayores son los costos en los que se incurrirá, no es tan simple calcular el tamaño óptimo de la obra, para la cual la diferencia entre los ingresos y los costos será máxima.

Este enfoque es, por supuesto, muy simplificado. La realidad es más compleja: en primer lugar, existen otros indicadores de bondad de una inversión: la rentabilidad (ingreso total dividido por costo total); la relación beneficio neto/inversión; el tiempo de repago, etc. Además, el precio de la energía puede no ser constante todas las horas del día. Eventualmente, hay que tener en cuenta costos de posibles expropiaciones y relocalizaciones, el valor residual de la inversión, y otros beneficios. Así planteado, el problema consiste en encontrar el máximo valor del beneficio B para el cual se satisfagan las restricciones.

$$\text{Energía} \leq \Delta t.\ \text{Potencia}$$

$$\text{Energía} \leq \mu\ \Delta t.\ \Delta S.\ \text{Caudal}$$

$$C_P + C_C \leq C_{MAX}$$

donde esta última restricción indica una limitación de recursos económicos y/o financieros disponibles: C_{MAX} es lo máximo que se puede gastar en esa obra.

A estas restricciones hidráulicas y técnicas pueden sumarse restricciones físicas, por ejemplo la máxima potencia instalable en el lugar, o la máxima altura que puede tener la presa.

Si se conoce la forma de las funciones C_C y C_P queda planteado un problema típico —relativamente sencillo— de optimización bajo restricciones. Si por lo menos una de las funciones C_C o C_P es no lineal, el problema será un problema de programación no lineal, que se resuelve, dada la sencillez del caso, con relativa facilidad. C_P es una función "razonablemente" lineal: en esencia, el costo de la instalación hidroeléctrica es proporcional a la potencia instalada. Pero considerar lineal el costo de construcción ya es un poco más arriesgado: por empezar, hay un costo fijo, es decir, un costo que no varía mayormente según la altura de la presa, en el que están incluidos estudios y proyectos, expropiaciones, etc.; además, a medida que la presa es más alta puede ensancharse también la sección transversal del río, y en consecuencia debería haber un término cuadrático, etc. No obstante, para llevar al máximo nuestra simplificación, supongamos también que el costo de construcción es lineal respecto de la altura de la presa. El problema planteado entonces es maximizar la función lineal de beneficio B, que es una suma algebraica de términos en los que figuran constantes multiplicando la energía —términos positivos— y constantes multiplicando la potencia instalada o la altura —términos negativos—. Las restricciones son las ya indicadas, y la tercera toma la forma

$$a_p.\ \text{Potencia} + a_c.\ \text{Altura} \leq C_{MAX}$$

donde a_p y a_c son los respectivos coeficientes de proporcionalidad. Si no fuera porque la segunda restricción no es lineal (hay un producto de dos incógnitas), tendríamos un problema de optimización lineal bajo restricciones lineales, o sea de programación lineal. Si podemos "linealizar" la ecuación no lineal —y hay varios métodos para hacerlo— el problema de maximizar B, con las restricciones dadas, se puede resolver me-

Dibujos: Juan Carrère

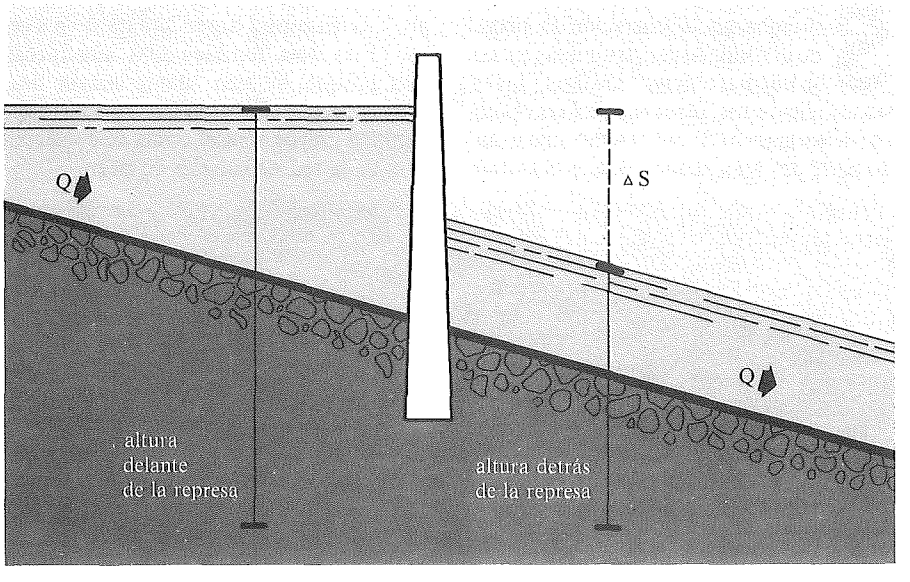


Fig. 1. Corte longitudinal de un río con una represa.

diante alguna de las variantes del método Simplex, que es la técnica usualmente adoptada y a la cual nos referimos en el recuadro. Como puede suponerse, es más fácil trabajar con problemas lineales que con problemas no lineales; por eso se tiende a plantear los modelos matemáticos de los sistemas en estudio en la forma más lineal posible. Pero muchas veces se desnaturaliza, así, la realidad. Por ejemplo considerar un caudal medio anual constante en *todos los períodos del año* es una suposición objetable, salvo que se trate de una presa sobre un río ya regulado por otras represas ubicadas aguas arriba, y en este caso es más razonable enfocar el problema global de *todas las presas*, como haremos a continuación.

Hemos llegado al máximo de simplificación, a punto tal que ya nos alejamos demasiado de la realidad; comencemos entonces a complicar el problema para acercarnos más a ella. En primer lugar, supongamos varias presas consecutivas, como se indica en la figura 2. Consideremos además que las presas forman embalses, o sea tienen capacidad de retener toda o parte del agua que llega, y enviarla a través de la presa cuando convenga (en períodos de poco caudal, usualmente). Ya no se pueden considerar "caudales medios anuales". El agua se almacena en alguna época del año (o en varias épocas del año) y se libera en otras. Es necesario considerar caudales medios en cada uno de los períodos en que, por razones hidrológicas o económicas, se divide el año. La función a maximizar será el beneficio neto *total* producido por las represas, o sea una suma de beneficios: en lugar de una variable desconocida, la energía producida, tendremos gran cantidad de variables cada una de las cuales representa la energía que produce una determinada presa en un determinado período del año. Análogamente, en lugar de las variables desconocidas "potencia instalada" y "altura de la presa", habrá varias variables que indican potencias instaladas y alturas de las distintas presas en los diferentes períodos del año.

Pero esto no es todo: también es necesaria una restricción que relacione variables correspondientes a distintas represas en distintos períodos del año. Esa restricción adicional, que se relaciona con el hecho de que las represas poseen embalses, es decir una cierta capacidad de regulación, está dada por las *ecuaciones de continuidad* entre cada represa y la siguiente a lo largo del curso del río: el volumen de agua $Q_{i-1,j}$ que entra en una presa *i* durante un período de tiempo *j*, o bien sale dando lugar a un caudal de egreso Q_{ij}, que a su vez será el caudal de entrada a la presa siguiente, o bien queda almacenado dando lugar a una variación

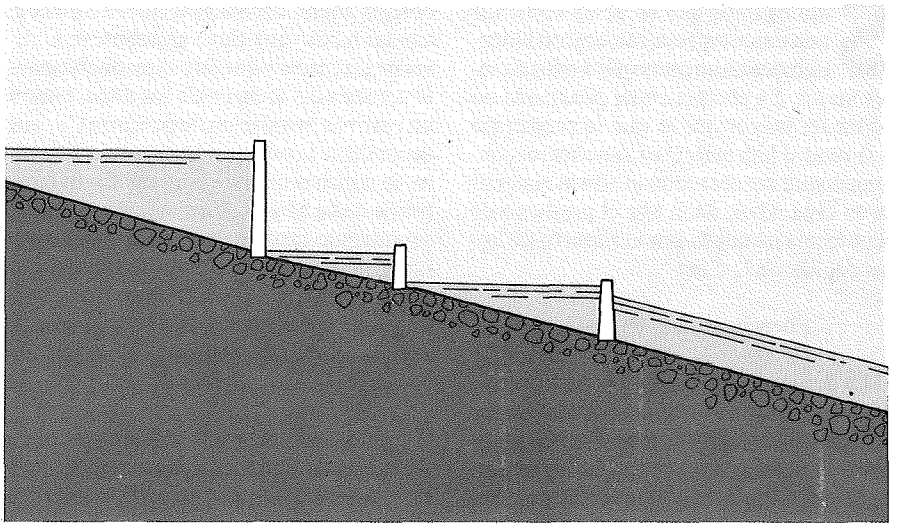


Fig. 2. Corte longitudinal de un río con tres represas.

ΔV_{ij} del volumen de agua contenido en el embalse de la presa. Matemáticamente, esto se representa mediante ecuaciones del tipo

$$Q_{i-1,j} - Q_{ij} = \Delta t_j . \Delta V_{ij}$$

donde $\Delta V_{ij} = V_{i,j+1} - V_{ij}$, siendo V_{ij} el volumen embalsado al principio del período *j* y Δt_j la duración del período *j* (véase la figura 3). Estamos suponiendo que todo el caudal que egresa de una presa llega a la siguiente. Como estamos planteando un problema lineal, supondremos que los volúmenes embalsados dependen linealmente de las correspondientes alturas aguas arriba de las presas. Tenemos ahora entonces la optimización de la construcción de varias presas, que, en forma aproximada, se puede resolver mediante el llamado método Simplex de programación lineal (véase "Métodos").

Sin embargo, la generación de energía no es todo. Al construir una represa se pueden obtener, mediante inversiones adicionales, otros beneficios tales como la instalación de una red de riego usando parte del agua almacenada en el embalse, la regulación de las crecidas del río, o el mejoramiento de las condiciones de navegación. Y se pueden hacer obras usando el recurso hídrico independientemente de que haya o no represa: obras de toma de riego al costado de un río sobre su cauce natural, canales artificiales, etc. Con el enfoque antes indicado, se pueden incorporar estos aprovechamientos al modelo para obtener el mayor beneficio neto total posible de un conjunto de obras con múltiples propósitos sobre un tramo de río, en el sentido de diseñar las obras de modo que el resultado económico global sea el mejor. Obsérvese que *nada indica que el diseño global óptimo coincida con los que optimizan cada obra por separado* (si no, no haría falta plantear el modelo globalmente). Pero hay que modificar la ecuación de continuidad: los caudales de entrada a una presa no son necesariamente los que egresan de la presa anterior; por ejemplo, parte del caudal que egresa de una presa se puede destinar a riego, y su magnitud dependerá del área a regar. Esta área también será una incógnita porque, si bien cuanto mayor sea, mayor será el beneficio por riego, también mayor será el costo de construcción de la red de canales de riego.

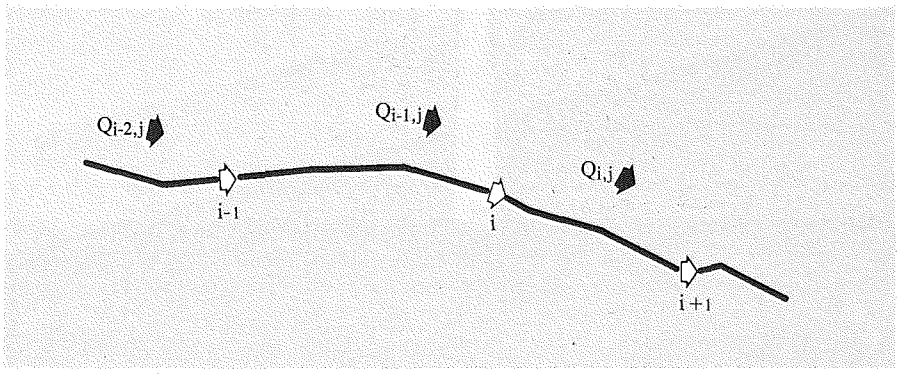
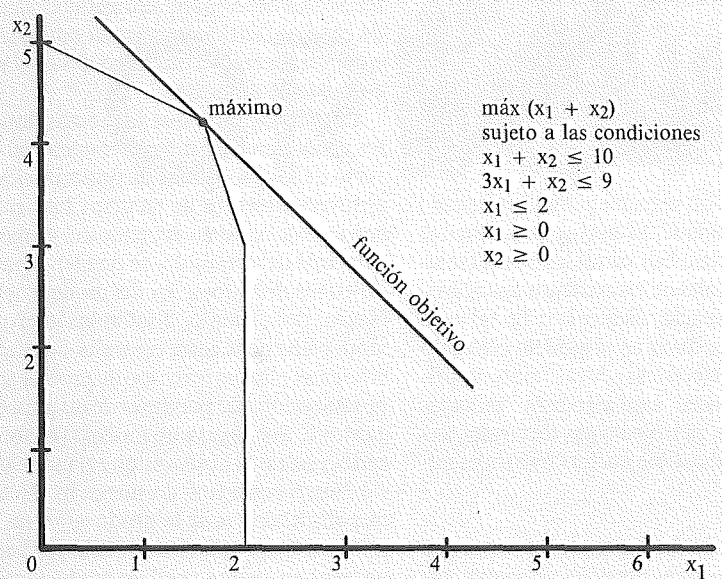


Fig. 3. Esquema topológico de un río con una represa.

MÉTODOS

El *método* Simplex

Para dar una idea intuitiva del método Simplex conviene considerar un caso con sólo dos incógnitas, que se pueden representar en un plano. La solución del problema de optimización lineal consiste en encontrar en qué punto de una región delimitada por segmentos (si la región no es infinita, será un polígono) alcanza su máximo una función lineal de las incógnitas, elegida en una familia de rectas de las cuales se conoce la pendiente. Se demuestra que el máximo buscado, si es finito, se encuentra en uno de los vértices del polígono, y el método Simplex consiste en saltar de vértice en vértice, mediante una elección adecuada, obteniéndose cada vez mejores resultados hasta llegar al máximo. Cada salto de vértice implica realizar ciertas operaciones matemáticas sobre la matriz de restricciones lineales. En la figura adjunta se muestra el polígono delimitado por las restricciones y el punto en que la función objetivo alcanza su máximo.



El algoritmo de Karmarckar

El algoritmo de Karmarckar es un nuevo método para resolver problemas de optimización lineal cuyos cultores sostienen que para problemas "grandes" es más eficiente que cualquier variante del método Simplex. En esencia, con el algoritmo de Karmarckar no se intenta llegar al vértice óptimo saltando de vértice en vértice, como en el Simplex, sino siguiendo un camino *por adentro* del polígono. El interés despertado por el método de Karmarckar entre los matemáticos aplicados y especialistas en computación es espectacular, pues por primera vez desde que fue diseñado hace más de cuarenta años, el método Simplex es amenazado en cuanto a su eficiencia por otro tipo de método de optimización lineal.

¿Qué sucede si en vez de un río tenemos una red fluvial, con confluencias y bifurcaciones? La ecuación de continuidad deberá tener en cuenta que a una presa pueden llegar aportes de caudal de dos ríos distintos, o parte del caudal que egresa de una presa puede no ir a la presa siguiente sino desviarse hacia un efluente. Las ecuaciones de continuidad deberán reflejar también la estructura de la red fluvial, que puede llegar a ser bastante complicada. El modelo planteado adquiere así mayor complejidad. Y ésta puede aun aumentar más si consideramos otras variantes, como infiltración, evaporación en la superficie de un embalse, recuperación de parte del caudal desviado aguas arriba para riego, construcción de canales excavados aguas abajo de presas para aumentar el salto, etc.

Para dar una idea de la magnitud del problema, diremos que si hay cinco áreas de riego, seis centrales y tres períodos, habrá aproximadamente cien restricciones. Esto es, según los cánones de la programación lineal, un problema menor. Pero si en lugar de considerar años medios, lo cual en muchos casos es una suposición peligrosa (pues el régimen del río puede variar considerablemente año a año), decidimos considerar un horizonte preciso de varios años (veinte, por ejemplo), con distintos caudales medios estacionales de entrada al modelo, se tendrían 2000 restricciones (y eso sin considerar otras adicionales, que las hay).

Ese ya es un problema lineal entre mediano y grande, y su solución es más complicada. El procedimiento usual de solución aplicando el método Simplex puede llegar a ser numéricamente inestable (los errores de los cómputos al tener que despreciar algunos decimales para que el número real "entre" en el espacio que la computadora reserva para cada número se hacen muy grandes) y es necesario reemplazarlo. Manteniéndose dentro de la metodología propia del método Simplex se deberá usar alguna variante del denominado algoritmo LU de Bartels y Golub, que asegura mucha mayor estabilidad numérica a costa de un mayor tiempo de cálculo. Hay dos variantes adicionales muy interesantes: una, tratar de usar la estructura especial de la matriz de restricciones, que tiene la forma llamada angular/dual angular con varios bloques independientes conectados por algunas filas y columnas. Entonces se puede tratar de usar la información sobre esa estructura para resolver el Simplex más rápidamente. La otra manera es introducir alguna variante del llamado algoritmo de Karmarckar (véase "Métodos").

Por otra parte, si no consideramos años medios sino series de años, cada uno con caudales de entrada distintos, no tenemos por qué considerar que *todas* las obras comienzan en el mismo instante. Podemos tener en cuenta la hipótesis, más realista, de que hay dificultades de financiación —reflejadas en las restricciones— y entonces algunas obras comienzan antes y otras después, por lo cual las restricciones dependen también de en qué año se está pensando. Aquí debemos introducir variables binarias, que toman nada más que los valores 0 y 1 (0 indica que hasta ese año una obra no comenzó a construirse, 1 que sí) y que, unidas a las variables "normales" continuas, originan un problema de programación mixta lineal/entera: el resultado del modelo será el diseño de las obras y el orden temporal para iniciar la construcción de las mismas que optimizan el beneficio final, dada la máxima inversión anual posible. Análogo enfoque se usa cuando no es obligatorio que se construyan todas las obras proyectadas: si la construcción de una obra implica un costo fijo (como usualmente sucede) es necesario

ca resumida, laica y sin autoritarismo con el mínimo de autoritarismo sible, porque no hacer daño es algo e finalmente hay que imponerle a la ıte). El otro problema que se plantea cuándo un ser humano es un ser mano y, nuevamente, tenemos que urrir a Aristóteles. No podemos arar el acto de la potencia: cuando o va a desarrollarse en un ser nano, irremediablemente *es* un ser nano y no se le puede hacer daño. usa horror, por ejemplo, saber que ta hace veinte años, los condenados a erte eran sometidos a experimentos lógicos y eso es un atentado contra derechos humanos. El derecho nano, dicho de la forma más cruda y cilla, es el derecho de un criminal a er consideraciones humanas. Si miro ápsula de Petri con embriones vivos que se van a hacer experimentos ellos, siento que la cápsula es ıchwitz. ¿Cómo se separa la potencia acto?

rahan
embargo, el tema sobre el comienzo a vida humana está en debate.

un
de el punto de vista de la ɔriología hay consenso en que la vida ıana comienza en la concepción. El blema es que para poder hacer stigaciones sobre los embriones se ia una discusión filosófica sobre el ıcter personal de esos seres. Entonces regunta será no si es un ser humano, si es persona o individuo humano. ıque en la cápsula de Petri se ve amente que son individuos. Las rentes teorías no radican en decidir embrión es o no humano. El rme Warnock afirma la posibilidad acer cualquier tipo de rimentación sobre embriones hasta atorce días, pero, sin embargo, dice tienen que tener un trato diferente, dignidad diferente a la de un simple unto de células, aunque no se sabe qué. Luego dice que en el desarrollo er humano no se puede establecer cesura en la cual se diga "antes de no era humano y después sí". Éste argumento capital. Si uno no puede r un umbral —hablando en gorías puramente racionales—, lo está en potencia no es el ser ano: es la adultez. Lo que se va a actualizar es la adultez, pero no el carácter humano. La cuestión no es simple porque no hay una traducción unívoca de una comprobación científica, ni siquiera de una teoría filosófica, a una ética. Será difícil establecer una ciencia de la perinatología, donde se trabaja sobre los fetos intracorporalmente, si se acepta jurídicamente que el feto dañado por culpa de los padres puede entablar juicio contra ellos. Pero esa misma sociedad que admite esos principios es la que admite libremente el aborto. Son cosas que no se compadecen desde un punto de vista teórico, pero de esto hay múltiples ejemplos: uno puede afirmar una cosa en teoría y en la práctica hacer otra cosa. En la Alemania nazi no creo que nadie dijera que un judío no era un ser humano, pero no los trataban como tales. El artículo 6° de la Declaración Universal de los Derechos del Hombre enuncia un principio capital: todo ser humano tiene derecho a su personalidad jurídica, porque se ha dado en la historia reconocer que ciertos individuos son seres humanos pero no deben ser tratados como personas, como el caso de los esclavos.

Garrahan
Afirma entonces que en la manipulación de embriones se despersonaliza jurídicamente a un sector de la humanidad.

Braun
Exacto. El derecho a ser reconocido como humano es algo previo a la sociedad. No es el derecho positivo el que acuerda mi personalidad; es la realidad biológica del ser humano la que me acuerda el derecho a ser tratado como ser humano. Esta discusión nunca se plantea. Cuando la Corte Suprema de los EE.UU. dice, en su célebre fallo Roe vs. Wade, que el feto no tiene ninguna consistencia personal, tendría que decir que no tiene ninguna consistencia como ser humano, cosa que médicamente parece muy difícil de afirmar. Lo que se expresa en los juicios es claramente lo siguiente: la personalidad jurídica es producto del reconocimiento social. Si esto es así, yo pregunto: ¿quién va a determinar cuáles son las características que definen a una persona humana? Creo que inevitablemente se cae en la arbitrariedad si uno separa lo que es un individuo humano de una persona humana; depende del grupo más poderoso negar la personalidad jurídica a ciertos individuos. O bien todos los individuos son personas y tratados como tales o bien ciertos individuos no son tratados como personas.

Finkelman
La ley positiva se toma a veces prerrogativas que sobrepasan las definiciones éticas de derechos humanos. Existe, por ejemplo, la pena de muerte. La sociedad decide que algunos crímenes se pagan con la muerte del criminal. La sociedad también puede decidir que se permite trabajar con el feto hasta el día 14 ó el 24 y eso puede ser un acto de legislación positiva. Será cuestionable la moralidad de cierta clase de decisiones, pero si la decisión se transforma en una ley, los científicos trabajarán con fetos hasta el día 14, aunque no más allá porque eso va a ser un crimen. No sé si vale la pena acortar quince años el tiempo que se tarde en lograr completar el conocimiento del mapa genético de los seres humanos, mediante la transgresión a un principio ético —esto es una opinión personal— y el trabajo con embriones humanos.

Garrahan
Aquí aparece otro argumento, el utilitario: las ventajas relativas que tiene la investigación con embriones humanos, en lo que se refiere al efecto multiplicador de descubrimientos o avances científicos que puedan realizarse sobre ellos, compensan el daño que se hace a esos individuos.

Finkelman
El argumento de la utilidad puede agravar o complicar la cuestión. De hecho en la fecundación *in vitro* se producen fecundaciones múltiples, por lo que sobran embriones y deben ser destruidos. Eso es una especie de pena de muerte para seres humanos por lo menos en potencia. Los utilitarios dirán "hay que utilizarlos; su sacrificio servirá a la humanidad".
La solución de algunos ginecólogos argentinos es implantar todos, con lo cual se producen muchos embarazos gemelares y hasta triples.

Garrahan
Sin embargo, creo que la fertilización *in vitro* es una solución genuina para

parejas que de otra manera serían estériles. Además, en un futuro que ahora parece ciencia ficción, está la posibilidad de corregir tempranamente enfermedades genéticas, tomando una pareja fértil, pero haciendo la fertilización *in vitro*. Yo veo eso como un acto médico de curar, totalmente genuino.

Braun
Considero que no se necesita declarar que el embrión es una persona para decir "debe ser tratado como una persona". Aunque no tengo garantías de que el embrión sea una persona, me es suficiente que sea un individuo humano y debe ser tratado como persona: no entro en una discusión filosófica sobre qué es ser persona. Además, el problema de la ética de la investigación sobre embriones quedaría englobado bajo las mismas reglas de investigación sobre seres humanos (véase "Crotoxina", *Ciencia Hoy* N° 4). Lo único que justifica la investigación sobre el embrión es el beneficio del embrión. Pero si uno analiza el problema de la fecundación *in vitro* no con fines investigativos, sino con fines de procreación humana, entra en un campo diferente, que es el campo de la ética sexual o de la sexualidad humana, o de la concepción que uno tenga de la procreación humana. ¿Qué es la procreación humana? ¿Un proceso biológico? ¿Algo más? Aquí se presentan problemas muy complejos. ¿Qué pasa con los donantes? ¿Con el matrimonio incapaz de realizar la cópula? ¿Se pueden disociar la sexualidad y la procreación? Son problemas éticos que dependen de una concepción que no es simplemente científica. La posibilidad está, pero ¿cuáles son los medios para llegar a ella? Hoy existe la posibilidad de separar la paternidad biológica, la paternidad jurídica y la paternidad social. Legal y moralmente es bastante complicado, porque por lo general se miran los intereses de los padres y muy pocas veces los de los hijos, sobre todo en el caso de fecundación *in vitro* e inseminación por donante, donde el hijo no va a conocer nunca su identidad genética.

Finkelman
¿Y es importante conocerla?

Braun
Puede llegar a serlo. Primero, va a vivir en la mentira, porque no va a saber nunca quién es su padre.

Garrahan
Pero, ¿no es una forma más sofisticada de la adopción?

Braun
La diferencia está en que en la adopción uno adopta un niño abandonado y aquí se está produciendo un huérfano.

Finkelman
La situación corriente de un matrimonio infértil que pueda resolverse por la fecundación *in vitro*, no me crea problemas. Las cosas se complican cuando falla la paternidad y se recurre al banco de esperma, aunque podría considerarlo una forma muy complicada de adopción. Las cosas se complican mucho más cuando el embarazo se hace en un útero mercenario. Sin embargo, no parece haber transgresión al principio de que no se debe hacer daño. Pero este procedimiento no soluciona el problema de todas las parejas infértiles, sino el de *algunas* parejas infértiles.

Garrahan (a Braun)
¿Ud. se opondría a una fertilización *in vitro* con fines terapéuticos?

Braun
Como estamos frente a un problema de procreación humana, hay dos pasos: el paso médico de corrección y el paso de procreación. Son dos cosas distintas. Con el paso médico de corrección estoy totalmente de acuerdo. Con el paso de la procreación tendría que analizar toda una serie de circunstancias para ver si se justifica o no. La procreación *in vitro* como práctica social, no como un acto individual, tiene una cantidad de subproductos negativos. El costo es uno, es decir el problema de distribución de recursos económicos y humanos para una técnica que tiene un muy bajo índice de éxito. Además, hasta ahora nadie ha medido las consecuencias psicológicas sobre las parejas que no tienen éxito. Otro problema es que requiere una altísima eticidad del cuerpo médico que lo practica, porque es muy fácil hacer trampa. Habría que ver si en el balance, las consecuencias positivas, desde el punto de vista de la práctica social, son mayores que las consecuencias nagativas.

Garrahan (a Braun)
¿Los problemas que Ud. plantea deberían generar una legislación que prohibiera la fertilización *in vitro*?

Braun
Para mí hay que distinguir entre la fertilización *in vitro* homóloga y la heteróloga. Yo creo que por las repercusiones sociales de la fertilización heteróloga, ésta debería ser legislada y hasta prohibida. Se practica y se hace un enorme fraude a la sociedad: el chico es anotado como hijo de fulano y eso es falso. En el caso de la homóloga, yo no lo prohibiría. Legislaría sí sobre el tema de los embriones. Además, hay que considerar un argumento ético muy importante, el de la cuña. Una vez que uno abre un frente, penetra por un filo, pero lo que viene detrás se va ensanchando. El aspecto ético más comprometido es que mientras en la fecundación intracorpórea la decisión depende exclusivamente de la pareja, en el caso de la fecundación *in vitro* depende de una tercera persona. Esta tercera persona no está haciendo un acto

médico sino científico, no está curando. No es lo mismo curar un defecto en las trompas que poner dos gametos juntos. Está curando una disfuncionalidad de la pareja, pero no de la persona.

Finkelman
Desde el punto de vista médico, lo que se está corrigiendo es la infertilidad de la pareja.

Braun
Aunque sí sea un acto médico, no entra en la deontología médica la obligación de realizar un acto de este tipo. Yo puedo juzgar que la pareja me viene a pedir la fecundación por motivos que considero injustos.

Finkelman
Eso supone que el médico debe juzgar éticamente a la pareja. Por lo general, los médicos no juzgan éticamente a su paciente, le prestan el servicio que el paciente demanda, la curación de ser posible. El médico practica la curación en el vecino, en su amigo y en su enemigo, pues él no es quién para imponerle criterios éticos al paciente, es un médico.

Braun
Lo que quiero decir es que existe la responsabilidad del tercero. Steptow y Edwards, que empezaron con la fertilización *in vitro*, obligaban a las parejas a firmar un protocolo por el cual si se descubría una anomalía genética en el feto, tenían que abortar. ¿El médico se hace cargo o no de las malformaciones posibles de ese feto? ¿Cuáles son las responsabilidades médicas en el acto de la fecundación? Es un caso atípico desde el punto de vista médico. Finalmente, quien representa al tercero involucrado en la fertilización extracorpórea termina siendo el Estado. Quiere decir que en el procedimiento más íntimo de la pareja interviene el Estado. Si, según el Informe Warnock, se admite la inseminación heteróloga como una práctica social que no se reserva a los ricos, sino que la tiene que pagar toda la sociedad, y se realiza en los hospitales, ¿dónde estarán los bancos de esperma? ¿Quién seleccionará a los donantes? ¿Quién garantiza el esperma? El Estado. Esta es una consecuencia no querida de la cuña. Australia se está replanteando muy a fondo si el Estado debe seguir financiando este proyecto que cuesta millones de dólares. Tal vez sea más barato evitar que mueran muchos otros niños por falta de recursos médicos. Los problemas están entrelazados. La lógica de la eficacia llevó a prácticas cada vez más alejadas de la naturaleza. Al principio se extraía un óvulo a fecundar, pero como hubo muchos fracasos se procuró la poliovulación. Luego se recurrió al congelamiento del semen, más tarde al de los embriones. Todos estos problemas éticos al principio no existían.

Finkelman
El argumento de que lo que no es natural debe ser evitado no me parece apropiado, porque la mayor parte de los actos humanos civilizados (cocinar la comida, dormir bajo techo, admirar un cuadro, sacrificarse por el prójimo) no tiene nada que ver con la naturaleza. En todo caso, cada acto no es más o menos ético.

Braun
Como lo artificial ha creado una serie de problemas éticos nuevos, la vieja ética médica ha quedado desprotegida.

Garrahan
Haciendo nuevamente ciencia ficción, como antes había presentado la posibilidad de hacer intervenciones genéticas sobre el embrión con fines terapéuticos, podría decirse que luego va a haber una demanda por parte de los padres de intervenciones genéticas no con fines terapéuticos, sino para obtener un chico con las características deseadas.

Braun
En nuestro país, donde mueren por infección intrahospitalaria centenares de chicos por año, es éticamente redundante hablar del problema de 50 u 80 chicos que puedan nacer por fecundación *in vitro* a un costo inmenso, mientras a un costo infinitamente menor se podría salvar la vida de muchos otros chicos. Dado que los recursos humanos y económicos son limitados, una teoría del bien del hombre debiera canalizar esos recursos hacia aquellas cosas que tuvieran un rendimiento más óptimo en función de una teoría acerca del bien de la sociedad. No significa que haya que prohibir, pero sí dar prioridades.

Finkelman
Creo que la natalidad siempre ejerció cierta fascinación en el hombre, circunstancia que lo ha llevado incluso a obtenerla por medios no corrientes. Es un derecho de la pareja recurrir a estos procedimientos, pero opino que no se deben utilizar fondos nacionales para financiarlos; eso me parece absurdo hasta la aberración. La fecundación *in vitro* es algo que no se puede ni se debe prohibir. Sí hay que preservarse de las situaciones de ciencia ficción. Mucho depende por cierto de la moralidad del tercer interviniente. Es fácil el fraude en esto como lo es en cualquier otra actividad. Además será muy difícil ocultarlo, si la tecnología avanza como para llegar a definir el genotipo del feto y su caracterización. Hay que legislar y evitar las situaciones absurdas. ⊙

PAGINA ES NOTICIA

ESTADOS UNIDOS

The New York Times

but not theatrical," Mr. Soriano said in a telephone interview.

Mr. Soriano, one of whose novels became the movie "A Funny, Dirty Little War," was less direct in an article that he wrote for Página 12 the

FRANCIA

Libération

« arrivisme politique », etc. Les révélations de *Página Doce* ont court-circuité les manœuvres du conseiller. Mais cette affaire n'est sans doute pas terminée : la presse s'en est emparée et s'interroge sur l'origine des fuites. Le scandale est

ESPAÑA

EL PAIS

Poco tiempo después de asumir la presidencia, Menem dejó entrever en unas declaraciones, publicadas sólo en el diario progresista *Página* 12 y no desmentidas, que quería fuera del Ejército al coronel Mohamed Alí Seineldín y al teniente coronel Aldo Rico

BRASIL

O GLOBO

Até o momento, Página 12 tem cumprido suas promessas aos leitores: duas de suas matérias provocaram crises nas Forças Armadas e na Justiça, mas em compensação aumentaram as vendas num País desacostumado a denúncias. A primeira foi a publicação de

FRANCIA

Le Monde

ITALIA

IL MESSAGGERO

Martedì, il quotidiano *Pagina/12* ha denunciato che i militari «fondamentalisti» stanno pianificando un attentato contro un ufficiale in attività per poi scatenarsi

SUECIA

SVENSKA DAGBLADET

re han skrev för första numret 26 maj 1987:

Pagina 12 är en tidning där saker och ting kommer att kallas vid sitt rätta namn. De döda

ITALIA

il manifesto

farsesco ed ironico di una vicenda che aveva tuttavia tenuto nell'incertezza per un giorno intero il paese e gli stessi mezzi di comunicazione. Da *Pagina 12*, che apre la prima pagina con il titolo «Eroe di fango», fino al severo quotidiano del mattino *La Nacion*, che scrive - in un articolo di fondo pagina - «credevano che Rico fosse un secondo San Martin».

ESTADOS UNIDOS

Newsweek

key papers, La Epoca of Santiago and Página 12 of Buenos Aires, regularly excerpt articles from El País. It has become a soapbox for some of Latin America's most respected novelists and commentators—among them Gabriel García Márquez,

ESPAÑA

cambio16

La indignación se mezcla con la tristeza: «*Es cierto que la indignación lleva a pensar que éste es un país menos serio que Burkina Faso*», dice desde una columna de opinión *Jorge Lanata*, de *Página Doce*.

Página/12

el país a diario

EL NUEVO PERIODISMO

Director: Jorge Lanata

BIOQUÍMICA

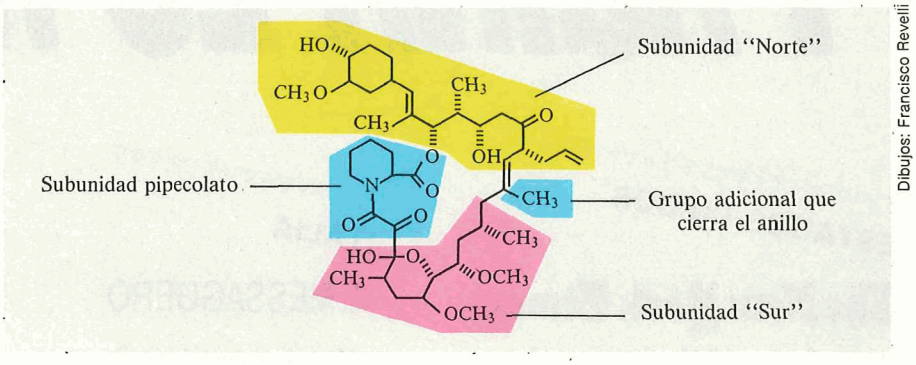
Química orgánica y trasplantes de órganos

El trasplante de órganos o tejidos (riñón, corazón, piel, pulmón, etc.) se ha convertido en una alternativa de vida cuando la clínica médica no puede solucionar la patología instalada en el paciente. Sin embargo, a pesar del alto desarrollo tecnológico alcanzado, el médico debe luchar contra un enemigo poderoso: el sistema inmune del receptor que rechaza el trasplante. Esta reacción ocurre porque la respuesta inmune está concebida por la naturaleza de tal manera que trata de eliminar aquello que "no es propio o innato". La señal de "ajeno" está dada por los llamados antígenos de histocompatibilidad (MHC) del donante, los cuales, aunque los donantes se seleccionen estrictamente, nunca son idénticos a los del receptor (excepto en gemelos univitelinos).

En una primera etapa del rechazo se observa infiltración del tejido implantado por células mononucleadas (linfocitos), lo que posteriormente lleva a la destrucción del injerto. Se ha podido determinar que los principales responsables de esta respuesta inmune son los linfocitos T llamados colaboradores (los cuales producen sustancias, linfoquinas, que estimulan la respuesta) y los linfocitos T llamados citotóxicos. O sea que el rechazo se debe a la estimulación de ciertas células que reconocen como extraño al MHC del órgano trasplantado y luego a la aparición de anticuerpos. Por lo tanto, la búsqueda de sustancias capaces de inhibir selectivamente estas subpoblaciones de linfocitos, sin afectar al resto del sistema inmunitario del paciente, es un área de intensa actividad en inmunología y en otras áreas básicas de la medicina.

El descubrimiento del péptido macrocíclico ciclosporina A (fundamentalmente un gran anillo formado por uniones peptídicas), que ha producido un profundo impacto en la prevención de rechazos por trasplantes en humanos, es un ejemplo representativo de uno de los adelantos más significativos de la década pasada. Esta sustancia ha hecho posible los éxitos logrados en estos reemplazos, ampliamente divulgados por la prensa diaria.

Más recientemente, en 1987, químicos de la compañía farmacéutica japonesa Fujisawa Pharmaceutical Co. aislaron del caldo de fermentación del microorganismo *Streptomyces tsukubaensis* N° 9993 una sustancia aún más activa que la ciclosporina A y con notables rasgos químicos estructurales,



Dibujos: Francisco Revelli

La sustancia FK-506. Las subunidades "Norte" y "Sur" son particularmente difíciles de sintetizar puras, por contener centros moleculares asimétricos que dan origen a variantes inactivas.

a la que llamaron FK-506 (véase la figura). A pesar de las diferencias estructurales entre la nueva sustancia y la ciclosporina A, ambas tienen modos de acción muy similares. Se ha probado "in vitro" que la FK-506 en una concentración 100 veces inferior a la de la ciclosporina A puede inhibir la formación de linfocitos T citotóxicos y la producción de varias linfoquinas (interleuquinas 1 y 3 e interferón gama) así como la expresión de sus receptores celulares. Cuando la sustancia FK-506 se utilizó en animales (ratones, ratas y monos) se halló que en dosis muy bajas (0,1 mg/kg por día) prolongaba significativamente la supervivencia del tejido trasplantado. Más aún, experimentos recientes han demostrado que la FK-506 y la ciclosporina A pueden actuar sinergésticamente (es decir, produciendo una mutua potenciación) por lo que se supone que podrían utilizarse conjuntamente en dosis muy pequeñas, a fin de eliminar sus efectos colaterales sin afectar la acción inmunosupresora que requiere el paciente trasplantado.

Por estas razones, inmediatamente de conocida su estructura, la FK-506 se transformó en un atractivo y desafiante objetivo para los químicos orgánicos sintéticos. En sólo un año y medio, período excepcionalmente breve por la complejidad estructural de la sustancia, químicos de los laboratorios de investigación de la compañía Merck Sharp & Dohme en Rahway, N.J., Estados Unidos, lograron su síntesis total*. La estrategia seguida para sintetizar la molécula de FK-506 consistió en construir con alto grado de pureza óptica las subunidades "Norte" y "Sur", que contienen la mayoría de los centros asimétricos de la molécula, para luego unirlas por medio de grupos adicionales y formar de este modo el ciclo de 23 miembros presentes en el producto natural.

Si bien el grupo de investigadores de Merck Sharp & Dohme fue el primero en lograr la síntesis total de la FK-506, es de destacar que grupos de investigación en varias universidades norteamericanas (Indiana, Yale) realizaron también aportes fundamentales, sintetizando subunidades claves presentes en la estructura de la FK-506, en particular la subunidad de pipecolato que por poseer una secuencia de tres grupos carbonilo (una amida, una cetona y un hemiacetal) presenta una reactividad poco común.

El resultado inmediato del esfuerzo realizado en la síntesis total de la FK-506 es la provisión de material para investigaciones adicionales. A más largo plazo, y como ocurrió con el estudio de la síntesis de otros productos naturales con actividades biológicas potencialmente importantes, el hallazgo permitirá aumentar el conocimiento de la química de esas estructuras moleculares. Tal cosa es crucial, por una parte, para el desarrollo de secuencias sintéticas de subunidades que permitan revelar los modos de acción de los productos y, por otra, para permitir la preparación de otros análogos que puedan ser más activos que los propios productos naturales.

* *Chemical & Engineering News*, 6 de febrero de 1989.

Rolando A. Spanevello
María I. Colombo
Edmundo A. Rúveda
Instituto de Química Orgánica de Síntesis, Universidad Nacional de Rosario

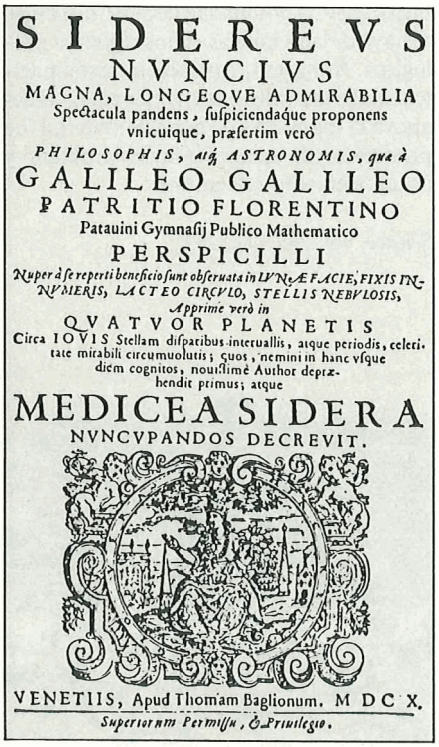
Lilia A. Retegui
Instituto de Química y Fisicoquímica Biológicas, Universidad de Buenos Aires

ASTRONOMÍA

El proyecto Columbus

Para diseñar telescopios verdaderamente gigantes que permitan a los astrónomos acceder a los confines más remotos del universo, se requiere en la actualidad una elevada dosis de imaginación. Las técnicas constructivas convencionales presentan grandes inconvenientes, algunos de los cuales se manifestaron en el caso del telescopio de seis metros de diámetro que opera desde 1973 en la Unión Soviética.

Recientemente, científicos de la Universidad de Arizona, bajo la dirección de J. R. Angel, desarrollaron una ingeniosa técnica para la construcción de espejos gigantes por medio de la cual confían en diseñar un telescopio con una apertura efectiva de 11,3 m de diámetro. Algunos detalles fueron anticipados al público en 1987 por la revista *Sky & Telescope** y actualmente se conoce el informe oficial del llamado "Proyecto Columbus", publicado en setiembre de 1988**. El telescopio sería inaugurado en 1992, a cinco siglos del descubrimiento de América por los europeos, si bien se estima que para entonces no podrá hallarse todavía en estado de plena operación.


SIDEREVS
NVNCIVS
MAGNA, LONGEQVE ADMIRABILIA
Spectacula pandens, suspiciendaque proponens
vnicuique, præsertim verò
PHILOSOPHIS, atq; ASTRONOMIS, quæ à
GALILEO GALILEO
PATRITIO FLORENTINO
Patauini Gymnasij Publico Mathematico
PERSPICILLI
Nuper à se reperti beneficio sunt obseruata in LVNÆ FACIE, FIXIS IN-NVMERIS, LACTEO CIRCVLO, STELLIS NEBVLOSIS,
Apprime verò in
QVATVOR PLANETIS
Circa IOVIS Stellam disparibus interuallis, atque periodis, celeritate mirabili circumuolutis; quos, neminì in hanc vsque diem cognitos, nouissimè Author deprehendit primus; atque
MEDICEA SIDERA
NVNCVPANDOS DECREVIT.
VENETIIS, Apud Thomam Baglionum. M DC X.
Superiorum Permissu, & Priuilegio.

Portada de *El mensajero de los astros* (1610), de Galileo, libro fundacional de la astronomía telescópica.

La nueva técnica consiste en construir un gran molde dividido en celdas hexagonales dentro de las que se colocan trozos de vidrio; luego se calienta el molde hasta unos 1200°C en un horno giratorio, cuya velocidad de rotación es tal que la fuerza centrífuga otorga a la superficie del vidrio fundido una forma parabólica. Por último, se hace descender la temperatura muy lentamente. Este simple procedimiento ha demostrado ser muy promisorio, pues ha sido ensayado en abril de 1988, para la construcción de un espejo de 3,5 m de diámetro. El proceso de "cocción" en sí mismo llevó unas seis semanas, lapso que se extiende a unos cuatro meses si se tiene en cuenta además el armado del molde. El "taller", ubicado debajo de las graderías del estadio de fútbol americano de la Universidad de Arizona, tiene como próxima meta el diseño de un espejo de 6 m y, más adelante, otro de 8 m.

El telescopio Columbus es de tipo binocular, esto es, cuenta con dos espejos de 8 m, perfectamente alineados, que al operar conjuntamente ofrecen una apertura efectiva de 11,3 m. La luz estelar recibida por cada espejo es combinada por medio de una computadora para formar una sola imagen. Existe ya un telescopio de este tipo, ubicado en Hawaii, que utiliza seis espejos para obtener una apertura efectiva de unos 4 m.

La construcción del instrumento está a cargo de la Universidad de Arcetri, Italia. Los otros dos miembros del consorcio son las universidades de Ohio y de Chicago, aunque es posible que esta última se retire por hallarse comprometida con otro proyecto. De todos modos, los miembros restantes se encuentran ya diseñando los instrumentos asociados al telescopio. En particular, la Universidad de Ohio está desarrollando un sistema de operación de telescopios por control remoto, de tal forma que el astrónomo pueda "observar" con el Columbus (que estará situado en la cima del Monte Graham, en Arizona) sin abandonar su oficina, usualmente ubicada en una remota ciudad. Se espera incluso que en el futuro lleguen a realizarse observaciones vía satélite. La ventaja del sistema es que independiza al astrónomo de las siempre temidas noches nubladas.

¿Qué puede hacerse con este telescopio, cuyo costo será de unos 100 millones de dólares? "El telescopio Columbus presenta una mayor resolución angular que cualquier

telescopio de montura simple", afirma el informe citado anteriormente. Y agrega que los científicos involucrados en el proyecto estiman que el telescopio podría integrar una "red" de cuatro instrumentos para lograr alcanzar una apertura efectiva de 100 m. El modo de operar de la "red" sería similar al de los actuales radiointerferómetros, sistemas integrados de radiotelescopios.

Para los astrónomos, la búsqueda de una mayor resolución angular es tan importante como la capacidad de observar objetos más débiles. En el campo extragaláctico, por ejemplo, se espera poder estudiar la estructura interna de las galaxias y, en especial, de los célebres cuasares. Otra meta importante es el poder observar galaxias cada vez más lejanas, ya que ellas, según los cosmólogos, pueden proporcionar información sobre las etapas tempranas de la evolución del universo.

El supertelescopio es también esperado con gran expectativa por los científicos "planetarios", quienes tienen la casi certeza de que el instrumento podría llegar a descubrir sistemas de planetas que orbiten alrededor de estrellas distintas del Sol, lo cual requiere procedimientos de medición y detección enormemente precisos. La posibilidad de evaluar cuán frecuentes son los sistemas planetarios en el universo tiene una importancia vital para la ciencia del porvenir.

* Robinson, L. J., "Monster Telescopes for the 1990's", *Sky & Telescope*, mayo de 1987.
** "Columbus Project Phase I Report", Scientific Advisory Committee, Richard Kron (ed.), setiembre de 1988.

Pedro Saizar
Universidad de Ohio, Estados Unidos

NÚMERO DE HERMANOS Y RENDIMIENTO ESCOLAR

Ilustraciones: Fernando Sendra

Estudios estadísticos realizados por sociólogos norteamericanos revelan que existe una relación negativa entre el número de años de escolaridad de un individuo y el tamaño de su familia de origen. "En los Estados Unidos el medio familiar sigue estando estrechamente vinculado con los logros educativos individuales", afirma Judith Blake, del Departamento de Sociología de la Universidad de California en Los Ángeles. Esta investigadora basó sus trabajos principalmente en seis encuestas nacionales de gran escala, llevadas a cabo en el país del norte entre 1955 y 1986, por el gobierno federal y por importantes organizaciones de investigación. El análisis de las muestras seleccionadas indicó que, en general, tanto el número total de años de escolaridad como el porcentaje de graduados de escuelas secundarias y la proporción de estos graduados que continúan estudios superiores, tienden a declinar conforme aumenta el número de hermanos del individuo encuestado.

Una de las hipótesis barajadas para interpretar este fenómeno es la llamada *hipótesis de dilución* en relación con la habilidad intelectual, que sostiene que los padres de familias pequeñas pueden interactuar en forma más activa con cada hijo, hecho que influiría positivamente en la determinación del cociente intelectual del niño. Con el propósito de someter esta hipótesis a prueba, Blake recurrió a los estudios del Centro Nacional de Estadísticas para la Salud, realizados en 1965, y analizó los resultados de un test de inteligencia practicado en una muestra de 4.511 niños blancos, no hispánicos (el criterio de selección respondió al hecho de que otros grupos étnicos estaban pobremente representados en estos estudios). El test empleado —Wechsler Intelligence Scale for Children (WISC)— consta de subtests que evalúan habilidades verbales y no verbales. Los resultados de dos de estos subtests —vocabulario y diseño de bloques— señalaron que los niños provenientes de familias pequeñas desarrollan generalmente una mayor habilidad verbal.

Otros científicos han sugerido que esta mayor habilidad verbal se debe, en efecto, a la mayor interacción entre padres e hijos. Por otra parte existen estudios anteriores que han identificado a la habilidad verbal como el mejor pronosticador de rendimiento escolar. Blacke supone que la disminución en el número de hijos por familia que se observa en el presente —"baby bust"— puede llegar a influir positivamente en los logros educativos futuros de los actuales niños. "En el caso de que otras variables familiares sufran cambios adversos —como, por ejemplo, la estabilidad matrimonial— la declinación en el número de hermanos tal vez resulte ser un tipo de compensación para los jóvenes afectados", opina Blake. Y aventura que estos cambios familiares probablemente ejerzan un fuerte impacto en el desempeño académico de la próxima generación de estadounidenses.

Science, vol. 245, pág. 32

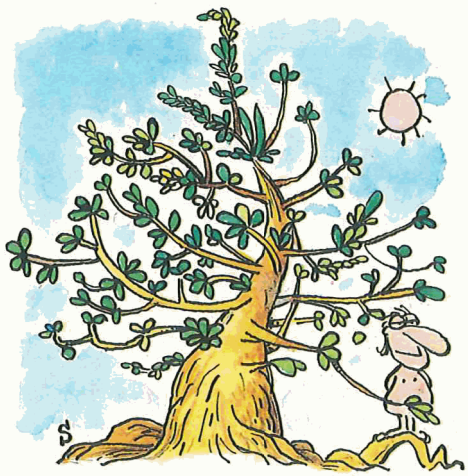
CUANDO LAS PLANTAS CONQUISTARON LA TIERRA

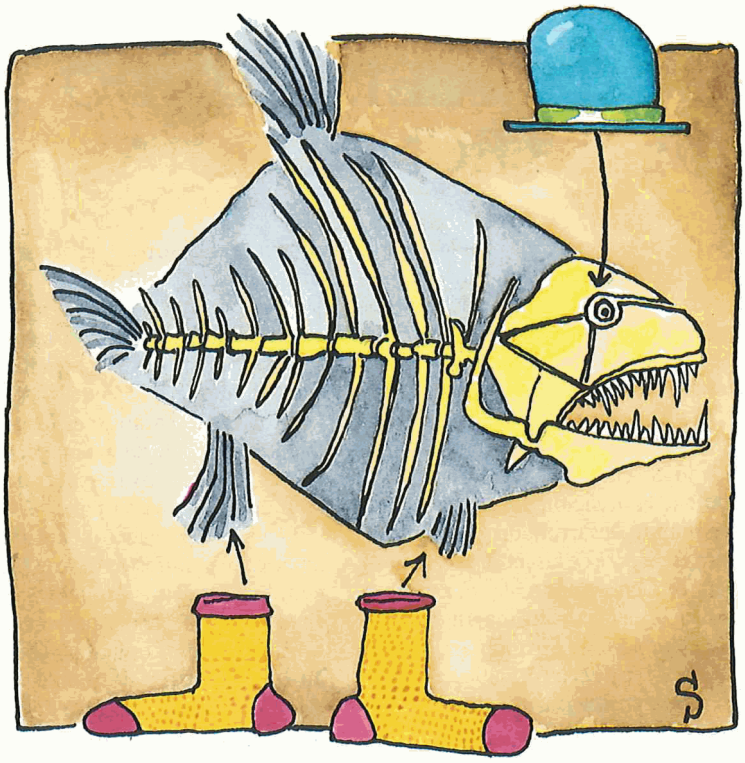
Se cree que las plantas terrestres —embriofitas— descienden de una clase de algas verdes. Esta hipótesis se basa en las similitudes citológicas y químicas que muestran estos organismos. Sin embargo, el estudio de los fósiles de las algas que conquistaron la tierra hace aproximadamente 400 millones de años es dificultoso, ya que sus talos —cuerpos no diferenciados— carecían de las partes duras, típicas de las embriofitas, capaces de resistir los embates del tiempo. Por tal motivo, el estudio de las algas verdes vivientes, parientes de las plantas terrestres, es la mejor fuente de información para lograr comprender este azaroso pasaje desde el agua hacia la tierra firme.

Coleochaete, el alga viviente más semejante a las embriofitas, mide tan sólo un milímetro de diámetro y vive en aguas dulces poco profundas. El estudio de talos fértiles de este vegetal por Charles Delwiche, de la Universidad de Wisconsin, Estados Unidos, reveló la existencia de *esporopolenina* (sustancia que cubre esporas y granos de polen) y de compuestos parecidos a la *lignina* (uno de los componentes de la madera), materiales que confieren una elevada resistencia al ataque microbiano. Estas sustancias, que se hallan en la pared de la cigota y de sus células adyacentes, soportaron un enérgico tratamiento con anhídrido acético y ácido sulfúrico, aunque sólo la esporopolenina perduró luego de un tratamiento alcalino moderado.

El hecho de que estos compuestos se encuentren únicamente en talos fértiles, hace suponer que la formación de una cigota induce su síntesis, probablemente a través de una sustancia difusible. La esporopolenina y las sustancias semejantes a la lignina suministrarían a estos talos una mayor resistencia frente a los gérmenes, propiedad ventajosa desde el punto de vista adaptativo. Esta resistencia al ataque microbiano también sugiere la posibilidad de que *Coleochaete* haya dejado huellas en los registros geológicos. Asimismo, la presencia de compuestos similares a la lignina en otras algas verdes apoya la suposición de que este material fue primeramente un agente antimicrobiano y no un elemento estructural.

Science, vol. 245, pág. 399.





Cómo sobrevivir en las aguas polares

Algunos peces marinos de aguas muy frías desarrollaron evolutivamente una interesante estrategia de supervivencia: su sangre cuenta con ciertos glicopéptidos anticongelantes que pueden inhibir la formación de cristales de hielo. En Estados Unidos, C. A. Knight y A. L. De Vries investigaron las propiedades de algunos de estos glicopéptidos —estructuras pequeñas similares a proteínas, unidas a moléculas de azúcar— y observaron que no sólo son capaces de evitar la formación de hielo sino que también pueden ejercer el efecto opuesto: retardar la fusión de los cristales.

Knight y De Vries, del Centro Nacional para la Investigación de la Atmósfera de Boulder, Colorado, y del Departamento de Fisiología y Biofísica de la Universidad de Illinois, respectivamente, prepararon una solución con cinco de los ocho glicopéptidos anticongelantes presentes en la sangre del pez antártico *Dissostichus mawsoni*, y la colocaron en un orificio practicado en un bloque de hielo, en el que también insertaron una varilla de aluminio, conductora de calor. Mediante la inspección de los cambios en la geometría de la sección horizontal del orificio, los científicos pudieron detectar si los efectos de los glicopéptidos presentaban algún tipo de anisotropía (variaciones en relación con las diferentes direcciones del espacio). Así encontraron que el efecto anticongelante se expresa mejor en superficies de hielo convexas, mientras que el efecto antifusión prevalece en superficies cóncavas.

Los autores también presentan un modelo físico para explicar los fenómenos observados. La inhibición del congelamiento y de la fusión del hielo operaría a través del llamado efecto Kelvin: la influencia ejercida por el radio de curvatura local en la temperatura de fusión, para cada punto de la superficie del cristal.

Science, vol. 245, pág. 505.

Cáncer y colesterol bajo la lupa

El descubrimiento de que algunas proteínas vinculadas con la aparición de determinados tipos de cáncer se deben unir a moléculas precursoras del colesterol para activarse ofrece nuevas perspectivas farmacológicas para la terapia de ciertos tumores malignos.

Las proteínas Ras —del inglés *rat*' sarcoma— están presentes en distintos seres vivos, como la levadura, la rata, y el hombre. En la levadura de cerveza estas moléculas son necesarias para la viabilidad del organismo y están relacionadas bioquímicamente con una feromona —señal química de atracción sexual— que favorece el apareamiento celular requerido para que el hongo se reproduzca sexualmente. En el hombre, la rata y otros mamíferos, las proteínas Ras regulan la división celular. Si sufren ciertas mutaciones, estas proteínas pueden provocar cáncer, una proliferación celular descontrolada. En la rata, por ejemplo, algunas proteínas Ras alteradas generan sarcomas (cáncer de tejido conectivo); en el hombre, ciertos tumores de vejiga, pulmón o intestino.

La feromona de la levadura de cerveza —un péptido llamado *factor a*— y las proteínas Ras deben unirse a una molécula lipofílica para conseguir adosarse a la cara interna de la membrana celular. La asociación con la membrana es necesaria para la función de estas sustancias proteicas y, en el caso de las proteínas Ras alteradas, crucial para la malignización de la célula. En el caso del *factor a* de la levadura, la molécula lipofílica activadora es el mevalonato, un eslabón intermedio en la cadena de síntesis del colesterol, que ha probado ser esencial para producir una feromona con capacidad de sostener la habilidad de apareamiento celular.

William Schafer y sus colaboradores, del Departamento de Bioquímica de la Universidad de California, en Berkeley, descubrieron recientemente que también algunas proteínas Ras de la levadura y del hombre dependen del mevalonato para realizar su función. Los científicos suponen ahora que la unión con mevalonato es una modificación general e importante que sufren muchas proteínas, algunas de ellas oncogénicas (promotoras de tumores). Estos hallazgos indican que las drogas capaces de bloquear estratégicamente la ruta biosintética del colesterol, empleadas en la actualidad para el tratamiento de las hipercolesterolemias, podrían transformarse en herramientas terapéuticas contra algunos tumores malignos. "Debido a sus escasos efectos colaterales adversos, es posible que estas drogas tengan algún valor en el tratamiento de los tumores vinculados con proteínas Ras activadas", opinan los investigadores. Estos cánceres constituyen entre el diez y el veinte por ciento de todos los tumores humanos conocidos.

Science, vol. 245, pág. 379.

Esther S. Ginsberg
Centro de Divulgación Científica y Técnica.

MUJERES DEL TERCER MUNDO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Por amplia mayoría las participantes de la primera conferencia internacional sobre "El papel de la mujer en el desarrollo de la ciencia y la técnica" —realizada recientemente en Trieste (Italia), con el auspicio de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo (TWAS) y el gobierno canadiense— se opusieron a la creación de una asociación exclusiva de mujeres científicas, por considerar que esta iniciativa sería segregacionista y discriminatoria y que debilitaría la posición de la mujer científica. A pesar de que las delegaciones africanas, asiáticas, de los países árabes y musulmanes (con excepción de Irán) apoyaron la propuesta, la representación de Latinoamérica y el Caribe, más fuerte, consiguió posponer la decisión para la próxima reunión de la TWAS, que se realizará en octubre de este año en Colombia.

Ese debate fue el episodio más polémico de la reunión de cinco días, en la que parte del tiempo fue reservado para la discusión de la situación de las mujeres científicas en los países en desarrollo y parte para la presentación de trabajos científicos. La química británica Dorothy Crowfoot Hodgkin (premio Nobel de 1964) y la médica italiana Rita Levi-Montalcini (premio Nobel de 1986) fueron una suerte de símbolo para las restantes 248 participantes del encuentro. La primera narró la lucha de sus primeros años para poder trabajar en un área predominantemente masculina; la segunda habló sobre las mujeres científicas ausentes de los libros de historia de la ciencia y la perpetuación del mito de la superioridad masculina en cuanto a capacidad mental.

Los objetivos de la conferencia eran identificar y divulgar las conquistas de las mujeres en varias áreas de la ciencia y la tecnología, evaluar el *status* que tienen en sus países y formular recomendaciones para ampliar y mejorar su papel en el desarrollo de la ciencia. En las sesiones plenarias, mujeres científicas hablaron de sus carreras, luchas y triunfos, presentando estudios estadísticos referidos a sus países. Christiane Dosne Pasqualini, relatora del grupo Latinoamérica/Caribe, señaló que en la Argentina el porcentaje de graduadas en las universidades pasó, en 30 años, del 14% a 51%, pero que solamente el 9% de los profesores universitarios son mujeres (véase "Mujeres en ciencias biomédicas", en la página 79).

En la discusión sobre los problemas que enfrentan las mujeres cuando perseveran en la carrera científica se puso en evidencia que algunas dificultades son independientes del grado de desarrollo económico de sus países, pues tienen orígenes socioculturales. Elizabeth Mann-Borgese (hija del escritor alemán Thomas Mann y autora de un libro sobre la mujer en la ciencia) abordó en profundidad la situación de las profesionales en el mundo desarrollado. Afirmó que "mientras se espere de las mujeres que pongan su carrera en segundo plano, no habrá igualdad en la ciencia". La mayor disponibilidad de empleos de tiempo parcial y los avances en el área de la informática, que permitirán a las científicas trabajar más tiempo en su casa, son perspectivas que les dan alguna esperanza en el futuro.

Cada participante presentó un trabajo para su publicación en forma de libro por la TWAS. En un análisis de la situación de la mujer científica en Brasil, defendimos la tesis de que en nuestro país no hay discriminación, ya que el acceso a la universidad y a otras instituciones científicas se logra por concurso público, lo que garantiza la igualdad de condiciones para el ingreso a la vida académica. No nos preocupamos por discutir excepciones, como el "paternalismo político", ya que son situaciones atípicas. Sin embargo, llamamos la atención hacia el hecho de que la productividad académica no es condición obligatoria para el ascenso jerárquico, ya que un profesor puede llegar a ser adjunto por años de trabajo acumulados y jubilarse sin haber producido nada. También señalamos que la mujer brasileña difícilmente ocupa posiciones de liderazgo científico o participa de la toma de decisiones, más por factores socioculturales que por falta de capacidad. Aunque la científica brasileña todavía pueda contar con la ayuda de personal doméstico —prácticamente inaccesible a sus colegas de los países desarrollados— toda la responsabilidad del hogar recae sobre ella.

Pero el debate no se limitó a los llamados "asuntos de mujeres": la presencia de científicas de varias partes del mundo, de diversas culturas y especialidades favoreció el intercambio de informaciones científicas. La brasileña Johanna Dobereiner, que presidió la comisión organizadora de la conferencia, habló sobre bacterias fijadoras de nitrógeno en el cultivo de gramíneas en Brasil; Hu Qiheng, de China, sobre la quinta generación de computadoras; S. A. Temtamy, de Egipto, sobre genética humana, señalando que el 75% de los defectos congénitos se presentan en el Tercer Mundo y apenas el 25% de los mismos son genéticos; D. W. Zewdie, de Etiopía, expuso la situación del SIDA en su país.

El nivel de la ciencia que se hace en Latinoamérica se manifestó como el más homogéneo; las científicas africanas revelaron un cuadro estremecedor, que las coloca en una posición política opuesta a la de las latinoamericanas en relación con las recomendaciones generales y las propuestas formuladas al cierre del encuentro. En Egipto, dijo Farkhonda Hassan, la carrera científica es difícil para una mujer y solamente en 1956 se igualaron los derechos para ambos sexos; en Ghana, según A. A. Andam, la fobia a la matemática todavía es un obstáculo para la presencia de mujeres en la física, mientras que otro es el miedo a no casarse y permanecer dependiente de la familia. E. A. Bari contó que en Sudán sólo en 1945 las mujeres tuvieron acceso a la universidad, pero que las científicas todavía sufren un estigma social: "Nuestro problema no es la educación de las mujeres, sino la de los hombres. Somos un país con más de 500 dialectos, castigado por la guerra civil, el hambre, las sequías y las inundaciones". En muchos países africanos no existe educación formal para las niñas.

Fue curioso observar cómo la delegación de mujeres iraníes movilizó a la prensa en Trieste. Con sus trajes pesados, azules, negros y marrones, estas mujeres parecían monjas, mostrando solamente las manos y parte de los rostros. Sin embargo sorprendieron por su falta de apoyo a la iniciativa de la fundación de una sociedad de mujeres científicas. Como la mayoría, opinaron que el presupuesto disponible en la TWAS sería mejor aplicado si con él se financiara, por ejemplo, la formación de jóvenes científicos y se apoyaran proyectos originales de investigación en el Tercer Mundo.

Antoniana Ursine Krettli
Instituto de Ciencias Biológicas
Universidad Federal de Minas Gerais, Brasil

MUJERES EN CIENCIAS BIOMÉDICAS

La primera mujer que recibió el título universitario de médica en la Argentina —y en Latinoamérica— fue Cecilia Grierson (1859-1934), graduada en la Universidad de Buenos Aires en 1878. Cecilia era hija de madre irlandesa y de padre escocés. En 1900 fundó el Consejo Nacional de Mujeres y en 1910 presidió el Primer Congreso Femenino Internacional organizado por la Asociación de Universitarias Argentinas, en el año del Centenario de la Revolución de Mayo. Tuvo la osadía de presentarse a concurso para profesor titular en la Cátedra de Obstetricia de la Facultad de Medicina de la Universidad de Buenos Aires, concurso que fue declarado desierto: tan sólo 30 años después se nombró, en esa misma Cátedra, a la primera mujer docente, María Teresa Ferrari de Gaudino.

En 1942, al llegar la autora de esta nota a Buenos Aires con una beca de la Federación de Mujeres Universitarias del Canadá para dedicarse a la investigación, bajo la dirección de Bernardo A. Houssay, traía una carta de presentación para la doctora Gaudino, primera presidenta de la Federación Argentina de Mujeres Universitarias, entidad fundada en 1936. Así, ella fue la primera mujer entre los becarios externos acogidos en el Instituto de Fisiología de la Facultad de Medicina de la Universidad de Buenos Aires.

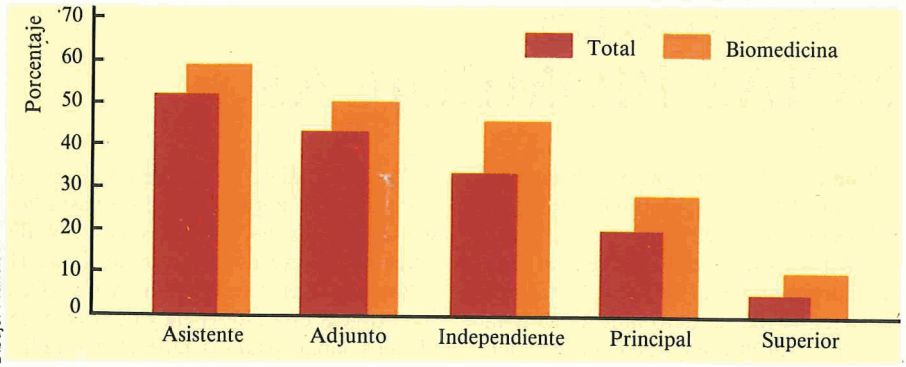
En los años siguientes se advirtió un progresivo aumento en la participación de las mujeres en las ciencias biomédicas. A raíz de una reunión sobre "El papel de la mujer en el desarrollo de la ciencia y la técnica en el Tercer Mundo", organizada por la Academia de Ciencias del Tercer Mundo, en Trieste (Italia) en octubre de 1988, pareció interesante analizar esta progresión, realizando una evaluación anual entre 1957 y 1987 del porcentaje de mujeres (a) egresadas tanto de la Facultad de Medicina como de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad de Buenos Aires, y (b) presentadas a la Carrera del Investigador Científico y Tecnológico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la República Argentina (CONICET). Los resultados fueron expuestos por la autora en el transcurso de la mencionada reunión (véase "Mujeres del Tercer Mundo en ciencia y tecnología", en la página 78).

Como se puede comprobar en la tercera columna del cuadro adjunto (véase), de los médicos egresados de la Universidad de Buenos Aires en 1957 sólo el 14% eran mujeres, mientras que en 1983 ascendían al 53%. Si bien este último dato indica una igualdad entre varón y mujer, ello no se reflejaba en el nivel docente, ya que, en 1987, entre profesores titulares y adjuntos, solamente el 9% eran mujeres.

En la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la misma Universidad, la situación era ya diferente en 1957, como se puede apreciar en la quinta columna del cuadro: la proporción de mujeres y hombres entre los egresados era similar, pero, ulteriormente, el porcentaje de mujeres aumentó hasta llegar al 80% en 1983. Además, en 1987, de entre los profesores titulares y adjuntos, el 43% eran mujeres, inclusive la decana. ¿Cómo explicar esta diferencia y por qué hace 30 años había ya tantas mujeres en esta facultad? Tal vez sea porque, en esa época, era tanta la oposición que enfrentaban las que anhelaban estudiar medicina, que se inclinaban hacia las disciplinas de Farmacia y Bioquímica. Hay que recordar, asimismo, que —contrariamente a lo que ocurría en otros países— tampoco existían demasiadas posibilidades para orientarse hacia ca-

AÑO	Egresados UBA				Presentación a Carrera del Investigador (CONICET)	
	Medicina		Farm. y Bioquímica			
	Total	%	Total	%	Total	%
1957	696	14	156	49	--	--
1958	592	16	131	58	--	--
1959	1023	16	150	51	--	--
1960	1049	19	175	52	--	--
1961	1265	18	193	62	386	24
1962	1079	21	268	57	175	27
1963	1117	24	306	51	51	20
1964	1531	19	298	53	61	26
1965	1416	21	263	53	44	30
1966	1017	27	251	55	62	23
1967	1316	24	212	53	51	36
1968	1218	19	211	62	92	29
1969	1320	29	321	53	148	29
1970	1156	33	268	55	119	23
1971	1370	28	234	55	107	30
1972	1436	29	321	57	144	31
1973	1272	30	253	56	159	36
1974	1398	32	71	53	226	32
1975	1368	26	422	63	126	38
1976	1167	40	383	70	138	32
1977	1487	41	632	72	348	35
1978	1500	40	586	73	178	37
1979	1980	49	508	72	217	44
1980	2090	51	394	72	246	35
1981	2213	51	391	73	327	49
1982	2291	49	578	72	330	42
1983	1758	53	411	80	480	41
1984	1495	48	422	72	641	41
1985	1152	51	405	74	476	43
1986	1057	48	399	70	589	48
1987	1037	47	495	70	509	48

Profesionales e investigadores presentados al CONICET en el área biomédica y porcentaje de mujeres, 1957-1987. *Fuentes:* Departamento de Títulos, Facultad de Medicina, UBA, 1987; A. C. Paladini, Facultad de Farmacia y Bioquímica, UBA, 1987; Prodat (CONICET), 1987.



Dibujo: Francisco Revelli

Fig. 1. Investigadoras en la Carrera del Investigador Científico y Tecnológico del CONICET en 1987. Se puede advertir la disminución progresiva de mujeres en las categorías más altas.

rreras intermedias como la enfermería. Por otra parte, el título de farmacéutica ofrecía una alternativa ocupacional más accesible para la mujer. El hecho es que el porcentaje de mujeres se ha ido incrementando a lo largo de los años, característica que no se advierte en otros países, en los cuales, sin embargo, se tiende a la igualdad de sexos entre los graduados en medicina.

En la Argentina, la mayoría de quienes se vuelcan a la investigación con dedicación exclusiva —pertenezcan o no a la Universidad— son miembros de la Carrera del Investigador Científico y Tecnológico del CONICET. Al iniciarse esta carrera, en 1961, el 24% del total de postulantes eran mujeres. Como se puede apreciar en la última columna del cuadro, esta proporción avanzó hasta alcanzar el 48% en 1987, demostrando con ello que, al contrario de lo que se suele afirmar, no se presentan más mujeres que varones. No obstante, en 1987, de entre los postulantes a becas internas, el 57% eran mujeres.

Si bien estos datos señalan una virtual igualdad entre los dos sexos, al considerar las distintas categorías de dicha carrera se comprueba una progresiva disminución en la proporción de mujeres en las categorías más altas (véase la figura 1). En las ciencias biomédicas —que incluyen Medicina, Biología y Química— la proporción de mujeres es algo más alta con relación a otras disciplinas, aunque se mantiene la misma tendencia al disminuir el porcentaje de mujeres a medida que se asciende en la categoría. Las únicas cuatro mujeres que, en 1987, habían alcanzado la categoría "Superior", pertenecían a las ciencias biomédicas.

Del precedente análisis se puede concluir que, si bien en la actualidad no existe diferencia entre el hombre y la mujer en el nivel de graduación universitaria y de los primeros pasos en la investigación (véase la figura 2), significativamente son menos las mujeres que alcanzan altas promociones tanto en la docencia como en la investigación.

¿Cuál puede ser la causa de que las mujeres pierdan posiciones en el posgrado? Según un estudio de J. R. Cole y H. Zuckerman (*Investigación y Ciencia*, N° 127, págs. 76-83, 1987), basado en 2.000 entrevistas a científicos de ambos sexos, las mujeres publican significativamente menos que los hombres y, curiosamente, las solteras aún menos que las casadas con hijos o sin ellos, si bien los autores citados no ofrecen explicación alguna acerca del hecho. Sobre la base de la experiencia de la autora, se propone la siguiente. Las mujeres de ciencia, en general, suelen ser más detallistas, menos concretas, menos precipitadas para ponerle punto final a un trabajo y publicarlo: en síntesis, son menos decididas y tienen una menor ansia de poder que sus compañeros. A la inversa que el hombre, a la mujer le es menos fácil dedicarse por entero a su trabajo, deslindar su actividad científica de su vida familiar. Para el hombre, su trabajo es prioritario e incluso excluyente de la actividad familiar cotidiana; en cambio, para la mujer es difícil dedicar el 100% de sí misma a su trabajo: al no poder eludir obligaciones domésticas —especialmente con relación a los hijos—, tiene que mantener un complejo equilibrio entre la investigación y la familia. Sin embargo, si su vocación es auténtica, sabrá afrontar ambas obligaciones y mantener la continuación de su trabajo aun durante los años más difíciles, cuando los hijos son pequeños. Puede ser que ese interés bivalente le reste impulso en procura de su promoción.

Obviamente hay excepciones, sin contar las diferencias generacionales. No hay duda de que, en la actualidad, la mujer que se dedica a la investigación goza de ventajas con respecto a su madre y más aún a sus abuelas. Por un lado, hoy las mujeres de ciencia no son la excepción y, por el otro, se tiende a alcanzar una mejor distribución de las responsabilidades familiares. Esta nueva actitud de compartir tareas domésticas entre el hombre y la mujer facilitará seguramente que la mujer alcance la igualdad en los niveles de promoción.

Resulta difícil establecer una comparación entre la mujer de ciencia argentina y la de los países industrializados, en especial de los Estados Unidos de América. Si bien existe mucha similitud tanto en la proporción de egresadas en biomedicina como en las dificultades para alcanzar puestos de decisión, en los países del Norte se suele encontrar una actitud discriminatoria que llega hasta ubicar a las mujeres entre las minorías, actitud que, felizmente, no se advierte entre nosotros.

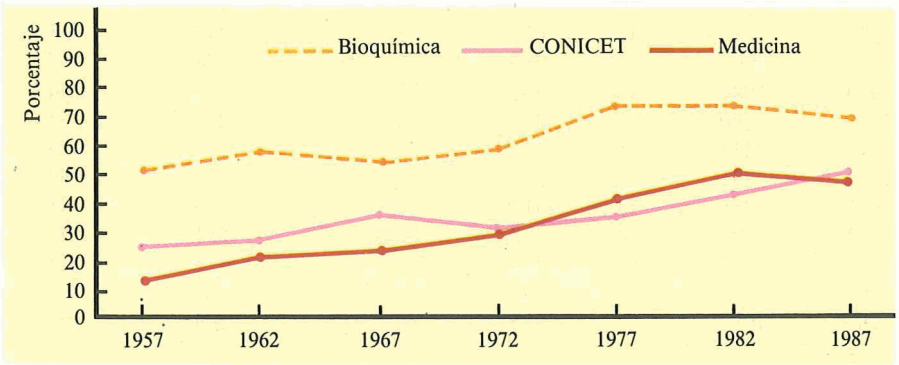


Fig. 2. Las líneas de tendencia (cada cinco años), en porcentajes, revelan la progresión de mujeres egresadas en ciencias biomédicas y presentadas a la Carrera del Investigador del CONICET.

Christiane Dosne Pasqualini
Instituto de Investigaciones Hematológicas
Academia Nacional de Medicina

LA UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES, QUE ES LA MAYOR CONCENTRACION DE CIENTIFICOS DEL PAIS, PUEDE CONVERTIRSE EN EL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO DE SU EMPRESA

Los convenios entre grupos de investigación e instituciones o empresas, para desarrollos científicos, investigaciones, asistencias técnicas, innovaciones tecnológicas, etc., son la herramienta contractual.

Por medio de estos acuerdos la Universidad de Buenos Aires ejecuta tareas de cooperación y transferencia en ramas tan diversas como:
* Urbanismo * Ingeniería de petróleo
* Electrotécnia * Tecnología de alimentos
* Computación * Energías no Convencionales
* Biotecnología * Problemas jurídicos vinculados con el desarrollo tecnológico * Comunicaciones
* Agroquímica * Salud y medio ambiente * Transporte
* Desarrollo de drogas y medicamentos

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
SECRETARIA DE CIENCIA Y TECNICA
DIRECCION DE CONVENIOS Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA

Viamonte 430 - 2º piso - Tel.: 311-1456

La Universidad Nacional de La Plata trabaja para el país

El aprovechamiento sistemático de los pequeños y medianos cursos de agua con posibilidades de hidrogeneración aún sigue siendo un desafío de cuyo éxito depende, en apreciable medida, el aparato productivo nacional.
Por eso la Universidad Nacional de La Plata decidió plegarse al esfuerzo que en los últimos tiempos ha llevado a la concreción de herramientas que permitan el desarrollo tecnológico de turbinas y bombas hidráulicas.
En ese sentido puede presentar hoy un logro importante: el Banco de Pruebas para Turbomáquinas de Baja Potencia, proyecto diseñado y construido enteramente en el Departamento de Hidráulica de su Facultad de Ingeniería. La instalación está destinada al desarrollo, verificación y optimización de máquinas axiales tipo "Tubo" o "S", Francis y Michel-Banki.
Pero, más ambiciosamente, implica ya la solución de dos aspectos centrales en la acción de mercado en esta área: la disponibilidad de una tecnología nacional en turbomáquinas hidráulicas de calidad certificada y un esquema de costos que garantiza su competitividad y eficiencia.
Un nuevo paso dentro de un programa transformador que concibe a la Universidad como algo más que un centro limitado a la docencia.
La Universidad Nacional de La Plata se inserta en la sociedad para contribuir a su desarrollo económico, social y cultural.

Universidad Nacional de La Plata